

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a**  
**informatiky**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

2010

Radek Svoboda

**VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a  
informatiky  
Katedra elektroniky**

**Návrh a realizace řídicího systému pro akvárium**

**Design and Realization of Control System for the Aquarium**

## **Zadání diplomové práce**

Student: **Bc.Radek Svoboda**

Studijní program: N2649 Elektrotechnika

Studijní obor: 2612T015 Elektronika

Téma: Návrh a realizace řídicího systému pro akvárium

Design and realization of Control System for the Aquarium

Zásady pro vypracování:

1. Proved'te rozbor způsobů měření pH a teploty kapalin a uveďte možnosti jejich regulace.
2. Navrhněte a realizujte řídicí mikropočítačový systém pro řízení a regulaci osvětlení, teploty a pH vody v akváriu.
3. Na realizovaném vzorku proved'te měření dle pokynu vedoucího diplomové práce.

Seznam doporučené literatury:

Dle doporučení vedoucího diplomové práce.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: doc.Ing.Petr Palacký,Ph.D.

Datum zadání: 20.11.2009

Datum odevzdání: 07.05.2010

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně.  
Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

7.května 2010

.....

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat panu Martinu Šátkovi za pomoc při řešení problémů s navrhováním a oživováním celého zařízení a za pomoc při psaní řídicího programu.

## **Abstrakt**

Cílem této diplomové práce je návrh a realizace řídicího mikropočítačového systému pro akvárium. V první části jsou probrány možnosti měření a regulace pH a teploty kapalin. V další části je návrh řídicího mikropočítačového systému, jeho vstupních a výstupních obvodů. V závěru této části je návrh desek plošných spojů navržených obvodů. Dále jsou provedena měření na navrženém zařízení. Na závěr je zhodnocení navrženého řídicího systému.

## **Abstract**

The goal of this Diploma Work is the Design and Realization of Control System for the Aquarium. There is an analyze done in the first part of ways and means of water pH and temperature measurement and regulation. There is a design of Control Microcontroller System, input and output circuits in the next part. There is a design of printed circuit boards of the designed circuits in end of this part. There are the measurements of the designed system. At the conclusion is done the evaluation of designed Control System.

## **Klíčová slova**

pH, teplota, pH metr, pH elektroda, kalibrace, měření pH, pufr, strmost elektrody, nulový bod, teplotní kompenzace, teplotní senzor, mikrokontrolér, PLC, grafický LCD, zdroj reálného času, PWM, ATMEL, ATmega128, ISP

## **Keywords**

pH, temperature, pH meter, pH electrode, calibration, pH measuring, calibration buffer, slope, zero point, temperature compensation, temperature sensor, microcontroller, PLC, graphic LCD, real time keeper, PWM, ATMEL, ATmega128, ISP

1.	Úvod.....	5
2.	Rozbor způsobů měření pH kapalin.....	6
2.1	Indikátorové papírky .....	6
2.2	Kapkové indikátory .....	6
2.3	Elektronické pH metry .....	7
2.3.1.	pH Elektrody .....	7
2.3.2.	Konstrukční odlišnosti pH elektrod .....	8
2.3.3.	Zacházení s pH elektrodami.....	9
2.3.4.	Měření hodnoty pH, kalibrace elektrody .....	9
2.3.5.	Teplotní kompenzace, kontrola driftu .....	12
2.3.6.	Přesnost stanovení pH a kriteria kvality elektrod .....	13
2.3.7.	Co dělat v případě problémů s pH metrem .....	14
2.3.8.	Rozdělení pH metrů .....	15
3.	Rozbor způsobů měření teploty kapalin .....	17
3.1.	Teplotní senzory .....	17
3.1.1.	Odporové kovové teplotní senzory .....	18
3.1.2.	Polovodičové odporové senzory teploty .....	21
3.1.3.	Monolitické PN senzory teploty .....	23
3.1.4.	Termoelektrické články .....	23
3.1.5.	Dilatační teploměry .....	25
3.1.6.	Speciální dotykové senzory teploty .....	26
4.	Možnosti řízení v akvaristice .....	27
4.1.	Neřízené akvárium .....	27
4.2.	Akvárium řízené spínacími hodinami .....	27
4.3.	Akvárium řízené mikroprocesorem .....	28
4.4.	Akvárium řízené počítačem .....	28
4.5.	Akvárium řízené PLC.....	29
4.6.	Řízení teploty .....	29
5.	Návrh řídicího mikropočítačového systému pro akvárium .....	30
5.1.	Požadavky na navrhovaný systém.....	30
5.2.	Volba a připojení zobrazovací jednotky LCD.....	30
5.3.	Zdroj reálného času .....	33
5.4.	Teplotní senzor .....	35
5.5.	Vstupní obvod pH sondy .....	36
5.6.	Obvody řízení osvětlení .....	38
5.7.	Mikrokontrolér.....	39
5.8.	Ostatní součástky ve schématu zapojení.....	42
5.9.	Návrh, výroba a osazení desek plošných spojů .....	43
6.	Měření na realizovaném vzorku .....	45
6.1.	Měření vstupního obvodu pro pH sondu .....	45
6.2.	Měření na PWM výstupu .....	47
7.	Nastavení jednotky a pohyb v menu .....	48
8.	ZÁVĚR.....	50

## 1. Úvod

Akvaristika, která byla v dřívějších dobách doménou vážených vědců uzavřených ve svých laboratořích, dnes zlidověla. Otevírají se nová veřejně přístupná akvária a vydává se celá řada publikací. Stále větší počet dětí i dospělých je okouzlen pozorováním této normálně nepřístupné přírody, která se jim každodenně nabízí.

Akvaristé se dnes snaží chovat a hlavně odchovávat rybky s vysokými nároky na jejich životní prostředí, které bylo v dřívějších dobách téměř nemožné. Pro zajištění chodu akvária, ale hlavně také pro usnadnění obsluhy a údržby, se používá stále větší množství technického vybavení. Ve specializovaných obchodech pro akvaristiku jde sehnat téměř vše, na co si běžný akvarista vzpomene. Potřebné vybavení lze rozdělit na dvě kategorie.

Do první lze zařadit vybavení, které je nezbytně nutné pro chod akvária a udržení biologické rovnováhy. Počítám s akváriem, které je koncipováno jak pro chov ryb, tak pro pěstování rostlin. Do této kategorie patří filtrace, vytápění a osvětlení. Filtrací je nespočet typů a záleží na akvaristovi, jaký typ mu bude vyhovovat. Filtrační systémy jsou v provozu nepřetržitě, takže žádné řízení není zapotřebí. Pro vytápění jsou nabízena vnitřní topná tělesa, topné kabely a topné desky. Nejčastěji používané jsou vnitřní topná tělesa, která mají pro regulaci teploty zabudovaný nastavitelný termostat. Pro osvětlení akvárií se nabízí opět široká škála výrobků, přičemž nejčastěji používanými jsou zářivkové trubice. Jdou koupit samostatná osvětlovací tělesa, nebo i kompletní osvětlovací kryty.

Do druhé kategorie lze zařadit vybavení, které chovateli usnadní obsluhu akvária a jeho chod zautomatizuje. Mezi toto vybavení se nejčastěji řadí automatické spínací hodiny pro zapínání a vypínání osvětlení. Zautomatizovat jde ale mnohem více úkonů, které akvarista musí provádět denně. V první řadě krmení. Jsou nabízena automatická krmítka od různých výrobců a v různých provedeních. V případě, že akvarista pěstuje náročnější druhy rostlin, je zapotřebí denně do vody dodávat živiny, pro jejich zdárný růst. Rostliny potřebují ke svému rozvoji světlo, minerální látky a kysličník uhličitý (CO<sub>2</sub>). Správný poměr těchto složek jim umožňuje žít a rozmnožovat se. Minerální látky se do vody dodávají v podobě tekutých hnojiv. Pro přesné dávkování lze použít peristaltické čerpadlo. Je zapotřebí ho připojit k nastavitelnému časovému spínači, který ho sepne například každé ráno na přesně danou dobu. Při dávkování kysličníku uhličitého se dají použít spínací hodiny a kysličník dodávat v malém množství po celou dobu osvětlení nádrže. V noci dávkování nemá smysl, rostliny naopak kysličník produkují a mohlo by nebezpečně klesnout pH vody a vést v krajním případě až k úmrtí ryb. K mnohem sofistikovanějšímu řešení patří řízení dávkování kysličníku uhličitého na základě měření hodnoty pH v nádrži. Tyto pH regulátory jsou nabízeny pro akvaristiku opět od různých výrobců. Cena těchto regulátorů bývá vysoká a pohybuje se mezi pěti až deseti tisíci korun dle výrobce.

Na trhu je tedy dostatek výrobků, které jsou pro chod akvária potřebné. Horší je to s možnostmi řízení. Každý zakoupený výrobek má buďto řízení své, nebo ho nemá vůbec. Pokud akvarista použije pro spínání všech zařízení spínací časové hodiny, stane se ze skříňky pod akváriem nepřehledná spleť kabelů a spínacích hodin. Elegantním řešením je jeden centrální řídicí systém, který by řídil všechna připojená zařízení. Mezi komerčními výrobky jsem na našem trhu takový systém neobjevil, občas pouze člověk narazí na více či méně zdařilou amatérskou konstrukci. A právě návrh takového řídicího mikropočítačového systému

je náplní této diplomové práce. V první části provedu rozbor způsobů měření a možnosti regulace pH a teploty kapalin. V další části budu navrhovat jednotlivé části řídicího mikropočítačového systému pro řízení a regulaci osvětlení, teploty a pH vody v akváriu. Ve třetí části provedu měření na realizovaném vzorku a na závěr provedu zhodnocení výsledků navrženého řídicího systému.

## **2. Rozbor způsobů měření pH kapalin**

Potřeba stanovení hodnoty pH akvarijní vody se v poslední době v akvaristice objevuje stále častěji a to ve spojení s dávkováním CO<sub>2</sub>. Zmíním zde dostupné metody pro stanovení pH a uvedu jejich výhody a nevýhody.

### **2.1 Indikátorové papírky**

Indikátorové papírky pracují na principu acidobazických indikátorů, což jsou organické látky měnící zabarvení v závislosti na pH prostředí. U papírků se využívá změny jeho zabarvení a následném porovnáním barvy s předtištěnou barevnou stupnicí určujeme pH. Papírky se vyrábí napuštěním roztoku indikátoru a jeho následným vysušením.

- **Výhody:** Velice snadné použití. Papírek se namočí do vody a po předepsané době se porovná barva se stupnicí. Výrobci doplňují měřicí plastový proužek i papírky měřící tvrdost, dusičnany a jiné parametry vody. Velmi snadný transport, papírek se opravdu těžko rozbije.
- **Nevýhody:** Malá přesnost měření, která bývá běžně +/- 0.5 pH. Při měření indikátorovými papírky s užším rozsahem je možné dosáhnout vyšší přesnosti, asi +/- 0.3pH. U papírku nemáme možnost kalibrace, tedy ověření jeho správnosti měření. Z tohoto důvodu není vhodné používat papírky po skončení jejich životnosti. Podmínkou je skladování v suchu, nejlépe v originálním obalu.

### **2.2 Kapkové indikátory**

Princip měření pomocí kapkových indikátorů je stejný jako u indikátorových papírků. Odlišný je postup měření. Do měřeného vzorku vody nakapeme daný počet kapek indikátoru a po dané době porovnáme zbarvení vzorku s barevnou stupnicí. V porovnání s indikátorovými papírky se kapkové indikátory vyznačují lepší opakovatelností měření a při použití kapkového indikátoru s úzkým měřicím rozsahem i vyšší přesností.

- **Výhody:** Velice snadné použití. Odebereme vzorek vody do kterého přidáme indikátor a po dané době porovnáme barvu se stupnicí. Snadný transport, protože se většinou indikátory prodávají v plastových lahvičkách. Je třeba si dávat pozor na nízké teploty, indikátor by mohl zamrznout.
- **Nevýhody:** Malá přesnost, která se běžně pohybuje +/- 0.5pH až +/- 0.1pH. Záleží na celkovém měřeném rozsahu výrobku. Při zbarvení vody od léčiv nebo od některých výluhů je měření problematické, někdy až nemožné. U kapkových indikátorů nemáme jako u indikátorových papírků možnost kalibrace a tudíž nelze provést ověření správnosti měření.



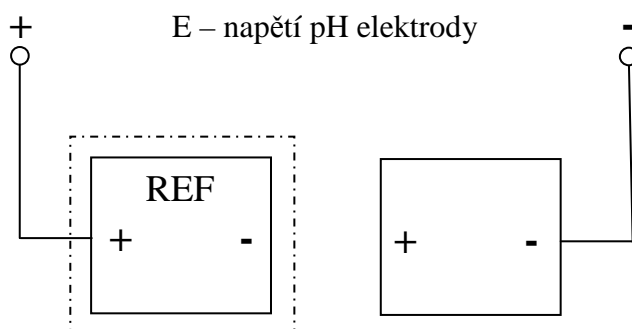
## 2.3 Elektronické pH metry

Hodnotu pH nemůžeme měřit přímo, jedná se o elektrické měření neelektrické veličiny na elektrochemickém principu. Princip měření je velice jednoduchý. Používá se kombinace dvou elektrochemických článků. Potenciál jedno článku je referenční a druhý potenciál je závislý od pH měřené kapaliny. Tyto články se umísťují do takzvané společné elektrody. Při ponoření elektrody do měřené kapaliny se na jejich svorkách objeví napětí odpovídající kyselosti roztoku. Pokud je roztok neutrální, je napětí na svorkách nulové. Při kyselém roztoku je napětí kladné při zásaditém záporné. Milivoltmetr, v tomto případě měřicí přístroj, změří napětí pH sondy a podle kalibračních údajů a teploty vypočítá a zobrazí aktuální hodnotu pH.

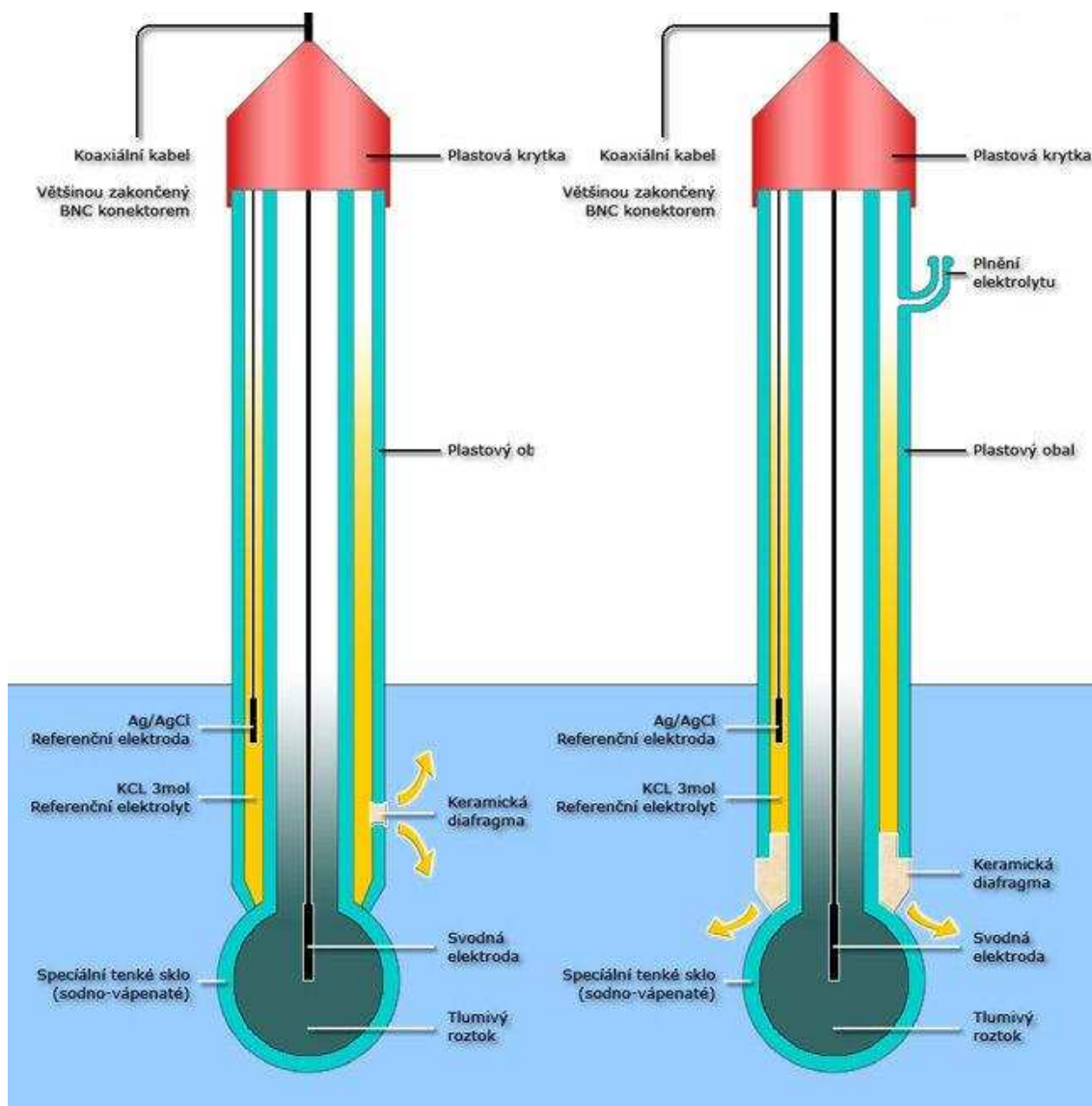
- Výhody: Kalibrace pH metru, tudíž možnost ověření správnosti měření. Vysoká přesnost měření v porovnání s indikátorovými papírky a kapkovými indikátory. S použitím pH sondy lze realizovat řízení a regulaci pH vody.
- Nevýhody: V první řadě cena a životnost pH sondy. Cena za sondu se pohybuje asi od 1300CZK za levnou, dodávanou pro akvarijní účely. Standardní sondy začínají na 1800CZK. Při použití sondy pro trvalé měření, se její životnost pohybuje podle znečištění měřené vody od jednoho do dvou let. Problém je také s přenosem zařízení, protože pH sonda nesmí vyschnout a musí být stále ponořena v kapalině.

### 2.3.1. pH Elektrody

Elektroda se skládá z několika základních částí. Elektrodou (většinou jejím středem) prochází svodná elektroda, která zasahuje do nejspodnější části elektrody. Tato spodní část kulového tvaru je zhotovena z speciálního sodno-vápenatého skla a je naplněna tlumivým roztokem. Okolo uzavřené svodné elektrody se nachází referenční elektroda. Referenční elektroda je vyplněna roztokem KCl, který je v kontaktu s diafragmou. Ta se nachází hned nad kulovou spodní částí elektrody. Diafragma je velmi důležitou a kritickou částí referenční elektrody. Ve většině případů diafragma obsahuje porézní keramickou ucpávku vloženou do skleněné stěny (porézní keramická diafragma). Při provozu, působením vody, dochází k hydrolýze skleněné membrány a k vzájemné výměně sodíkových iontů ze skla za vodíkové ionty z roztoku.



Obr.1: Symbolické schéma pH elektrody



Obr.2: Běžné konstrukce pH elektrod

### 2.3.2. Konstrukční odlišnosti pH elektrod

Elektrody obsahují stejné části, ale někdy se mohou konstrukčně velice lišit. Tvar měřicí části může být kulovitý s průměrem cca od 5mm do 10mm, půlkulatý nebo různě vypouklý. Ze sondy nemusí znatelně vyčnívat, často je chráněna přečnívajícím obalem sondy. Diafragma může být tvořena celistvým kroužkem nebo keramickým prvkem ve stěně sondy což jsou nejběžnější provedení. Používají se také například tenké platinové drátky zatavené do skla, tenké kapiláry a jiné speciality. Provedení referenční elektrody může být skoro neznatelné ve formě tyčinky, až po omotaný drátek někdy působící „zmuchlaně“, což by v nás nemělo vyvolávat pocit vadné nebo nekvalitní sondy. Vnitřní náplň elektrolytu KCl je možné u

některých sond doplňovat. K tomuto účelu slouží otvor v horní části sondy, který bývá zaslepen třeba převlečenou gumovou hadičkou. Některé sondy mají místo otvoru trubičku, na kterou se napojí externí zásobník s elektrolytem. Vyšší hladina elektrolytu vytvoří tlak v sondě a diafragma mnohem lépe odolává zanesení při trvalém ponoření.

### 2.3.3. Zacházení s pH elektrodami

Elektroda je jako celek velice citlivá na hrubé zacházení a to jak mechanické tak „chemické“. Mechanické poškození poznáme snadno, jinak poškozenou sondu spolehlivě rozezná pouze kvalitní pH metr.

Důležitými částmi sondy jsou spodní kulová část a diafragma. Kulová část je z velmi tenkého skla a proto je nutné zacházet se sondou opatrně. Sondu nepoužíváme k míchání roztoků, mechanicky ji nenamáháme, a pokud není bezpodmínečně nutné ani mechanicky nečistíme. Na běžné čištění se používají přípravky k tomu určené, nebo se používají slabé kyseliny. Sondu nesmíme nechat vyschnout. Často dojde k nevratnému poškození případně k velkému snížení citlivosti a životnosti. Sondu nepřechováváme v destilované vodě. Dlouhodobé uskladnění v destilované vodě, má za následek vyplavování elektrolytu a zrychlené stárnutí sondy.

Kromě zmiňovaného mechanického poškození ještě může vytéct referenční elektrolyt KCl, zvláště u sond které jej umožňují doplňovat. Vizualně nezjistitelné poškození způsobí vyschnutí sondy, nebo tzv. „otrávení“ sondy. „Otrávení“ může nastat při pronikání měřeného roztoku do referenční elektrody během měření. Diafragma poskytuje záměrnou netěsnost roztoku elektrolytu, který pak uniká do měřeného média a zároveň zabraňuje neomezenému mísení obou roztoků uvnitř referenční elektrody.

Cena pH elektrod se pohybuje ve velkém rozpětí. Důležité je, uvědomit si, že pH sonda stárne trvale i pokud ji nepoužíváme. Životnost pH elektrod nelze stanovit jednoznačně. Silně závisí na podmínkách měření, teplotě, na chemické i mechanické agresivitě vzorku, či na údržbě. Sklo membrány stárne například rychleji při vyšší teplotě. Usazeniny a cizí povlak na povrchu elektrody způsobuje menší citlivost  $H^+$ , doba odezvy je potom větší. Například při měření při teplotě vzorku 20°C může být životnost sondy 1 rok, při 80°C například jen 6 týdnů (při stálém měření). Můžeme se ale setkat se sondou, která má ještě slušné parametry i po dvou letech. Výrobci většinou poskytují záruku v rozsahu 6 až 18 měsíců, s různými výhradami a omezeními. Sondu nevybíráme podle ceny, ale spíše podle toho, k čemu je určena. Potom se budeme pohybovat v menším cenovém rozpětí, co se týká sond určených pro běžné vody a v beztlakovém provedení.

### 2.3.4. Měření hodnoty pH, kalibrace elektrody

Definice hodnoty pH [1]:

$$pH = -\log a_{H^+} \quad (1)$$

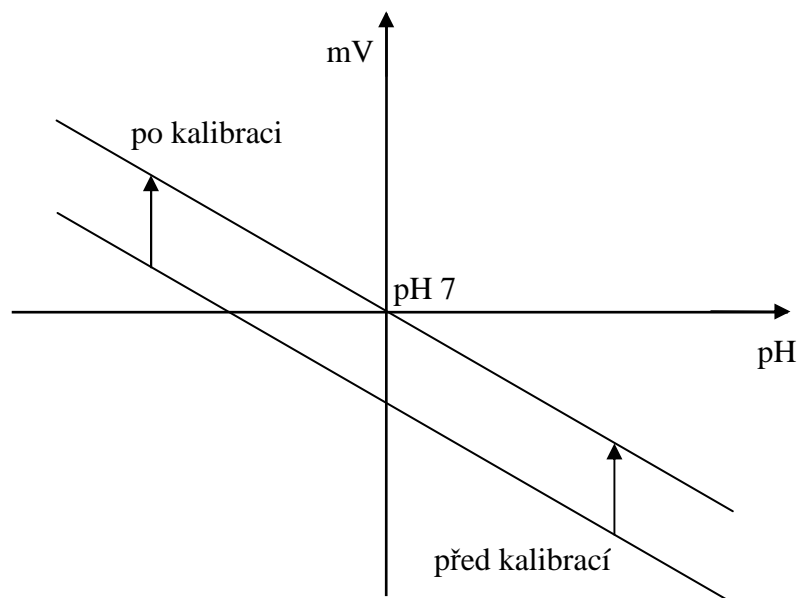
Je dána jako záporně vzatý logaritmus aktivity vodíkových iontů. Hodnotu pH lze potom určit potenciometricky dle Nernstovy rovnice [1]:

$$E = E_0 + 2,303 \cdot \frac{R \cdot T}{F} \cdot \log a_{H^+} \quad (2)$$

Kde: E – měřené napětí  
 E<sub>0</sub> – normální napětí při aktivitě 1 mol/l  
 R – plynová konstanta  
 T – absolutní teplota v kelvinech  
 F – Faradayova konstanta  
 H<sup>+</sup> - aktivita v roztoku

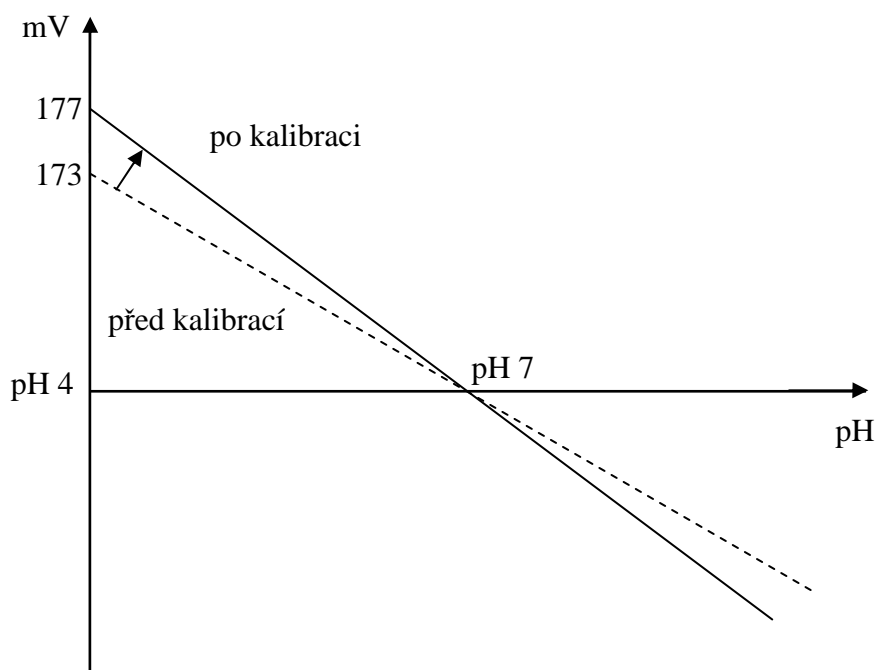
Při měření pomocí pH elektrody je velice důležitá kalibrace měřícího přístroje. Kalibrací by teoreticky mělo začínat každé správné měření pH. Poté by se měla kalibrace pravidelně provádět po celou dobu životnosti pH elektrody. Při kalibraci zadáme výchozí podmínky programu pro výpočet hodnoty pH do paměti měřícího přístroje. Kalibraci musíme provést minimálně v jednom bodě, doporučuje se kalibrace dvoubodová. Určujeme tak dva hlavní faktory elektrody, které nám zároveň slouží pro její ohodnocení.

- Nulový bod – asymetrický potenciál. Kalibrační křivka se vlivem stárnutí elektrody pohybuje v y ose. Po kalibraci se tato kalibrační křivka posune paralelně k pH7. Tento posun představuje asymetrický potenciál. Při kalibraci se používá tzv. pufr, což je kalibrační vodný roztok s pH7.



Obr.3: Kalibrace nulového bodu pH elektrody.

- Strmost elektrody – slope. Kalibrace s druhým pufrům udává strmost kalibrační křivky. Druhý pufr mívá obvykle hodnotu pH4. Při tomto pH se změří napětí elektrody a kalibrační křivka se středem v pH7 se natočí elektronicky na tuto hodnotu. Z průběhu pak zjistíme strmost elektrody, v tomto případě 59mV/pH.



Obr.4: Korekce strmosti elektrody

Pufry: Kalibrační vodné roztoky nebo speciální soli, které nejsou zcela disociovány a zaručují definovanou hodnotu pH, zpravidla udávanou při různých teplotách. Malý přírůvek  $H^+$  nebo  $OH^-$  ionů neohroží pH hodnotu těchto roztoků.

Všeobecná přesnost nejčastěji používaných technických pufrů je:  $\pm 0,02$  pH.

Porovnatelnost pH hodnot pufrů:

Mezinárodní standardy jsou měřeny a certifikovány podle postupů např. NIST (USA) nebo PTB (D).

Pufry dělíme podle jejich přesnosti:

- Primární standard
- Sekundární standard
- Pracovní referenční standardy
- Technické pufry

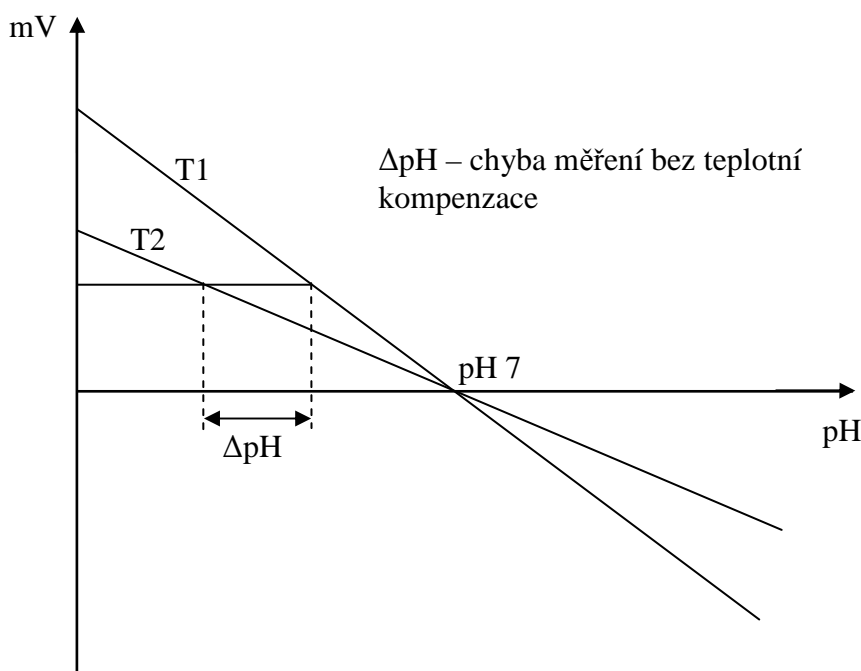
Jak bylo uvedeno výše, parametr teploty je součástí rovnice (1) a je velmi důležitý. Pro exaktní stanovení hodnoty pH musíme navíc měřit i teplotu měřeného vzorku. Dnešní pH sondy jsou často vybaveny integrovaným teplotním čidlem a slušný pH metr má teplotní měřicí vstup, do kterého je možné zapojit i externí teplotní čidlo. Pokud tomu tak není, mělo by být alespoň možné tuto teplotu manuálně. Každý měřený vzorek má svou vlastní teplota/pH charakteristiku (teplotní koeficient). Teplotní závislost vzorků není běžně známá (s výjimkou pH pufrů).

### 2.3.5. Teplotní kompenzace, kontrola driftu

Teplotní kompenzace umožňuje korigovat vliv teploty na strmost elektrody. Tento vliv může být korigován pomocí automatické nebo manuální teplotní kompenzace. Tato možnost bývá jedním ze sledovaných parametrů pH metru.

Příklad změny strmosti kalibrační křivky při různých teplotách:

0°C	= 54.2mV / pH jednotku
25°C	= 59.2mV / pH jednotku
50°C	= 64.1mV / pH jednotku
75°C	= 69.1mV / pH jednotku

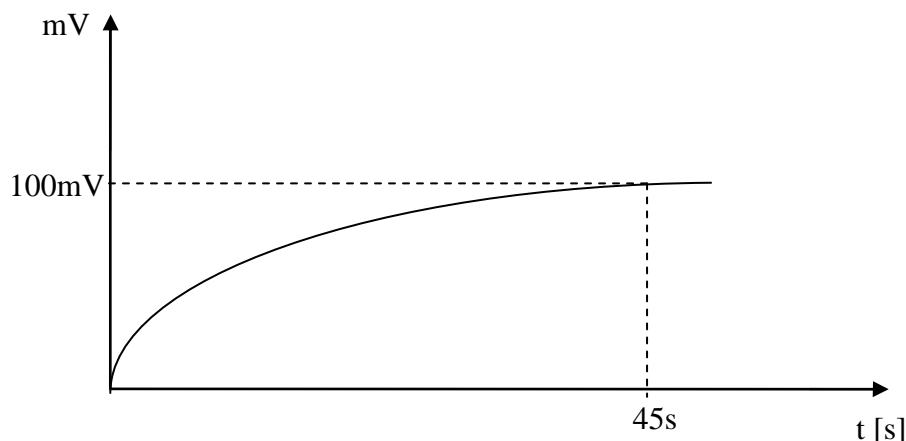


Obr.5: Vliv teploty na měření pH

Průsečík nemusí být bezpodmínečně při pH7. Isotermy se protínají v „isotermní průsečíkové oblasti“. Potom při otočení kolem teoretického bodu průsečíku 0mV způsobí chybu. Pokud je

pH elektroda kvalitní, průsečík je blízky pH7. Při měření pH v akváriu by teoreticky stačilo tuto teplotu pouze zadávat, protože teplota vody se v nádrži mění velice málo.

Kontrola driftu – při spuštění měření hodnoty na displeji kolísají a měřený signál se začíná ustalovat po určité době (doba odezvy). Abychom měli jistotu, že neukončíme měření dříve, než je dosaženo určité stability měřeného signálu, bývají pH metry vybaveny funkcí AutoRead.



Obr.6: Příklad driftu měřeného signálu

### 2.3.6. Přesnost stanovení pH a kriteria kvality elektrod

Je třeba mít na paměti, že výsledná přesnost měření je totálním diferenciálem chyb v celém měřicím řetězci a nelze se proto omezit jen na jeho jeden článek. Navíc je zapotřebí uvážlivě přistupovat k datům a prohlášením některých výrobců a prodejců, jestliže avizují nereálné parametry přístrojů nebo elektrod, nebo avizují tak jednoduchou obsluhu bez nutnosti jakékoli kalibrace, že stačí pouze počkat několik sekund na super přesný výsledek. Přesnost stanovení pH je závislá především na obsluze. Maximální dosažitelná přesnost se pohybuje kolem  $\pm 0,02$  pro měření v laboratoři a  $\pm 0,1$  pro online měření. Pro dosažení co možná největší přesnosti měření, je nutné dodržovat:

- U plnitelných elektrod mít plnicí otvor během měření otevřený.
- Nepřechovávat sondu na suchu nebo v destilované vodě.
- Nepoužívat sondu jako míchadlo.
- Vyvarovat se mechanickému čištění a drhnutí skleněné membrány.
- Dávat si pozor na usazeniny na membráně nebo diafragmě.
- Nemít vytekly referenční systém.
- Nepoužívat opakovaně pufry.

Kvalitu sondy lze rozdělit do čtyř skupin. Do příslušné skupiny mohu sondu zařadit, pokud znám její nulový bod a její strmost. Kriteria kvality pro pH sondy (při 25°C) jsou znázorněna v tab.1.

	Nulový bod [mV]	Strmost [mV/pH]
Výborná elektroda	+/- 15	-58,0 ... -60,0
Velmi dobrá elektroda	+/- 15	-57,0 ... -58,0
Dobrá elektroda	+/- 20	-56,0 ... -57,0
Uspokojivá elektroda	+/- 30	-50,0 ... -56,0

Tab.1: Kriteria kvality pro pH elektrody

### 2.3.7. Co dělat v případě problémů s pH metrem

Základní kontrola:

- Zkontrolovat správné připojení sondy a zapnutí pH metru.
- V případě režimu automatické identifikace pufru zjistit, zda je vhodný pro danou aplikaci a použití s daným pH metrem.
- Zkontrolovat čistotu sondy, kabelu a konektorů, musí být suché a bez koroze.
- V případě vzduchových bublin v elektrolytu sondy je lehce vytřepeme, jako když se sklepává teploměr.
- U plnicí elektrody: plnicí otvor otevřený a hladina elektrolytu sondy o min. 5 cm výše než hladina měřeného vzorku.
- Dostatek kalibračního pufru, aby byla při kalibraci ponořena membrána i diafragma pH sondy.
- Používat vždy jen jednu a čerstvé pufrы.

Důkladná kontrola:

- Zapnout pH metr v modu mV, ponořit sondu do pufru pH 7 a zapsat si hodnotu napětí v mV.
- v případě potenciálu (+/- 30) mV jdi na 4 bod kontroly.
- Referenční elektrolyt je možná „otrávený“, vypustit, vypláchnout čerstvým elektrolytem a naplnit nový elektrolyt. Kontrola napětí, jestliže je stále mimo rozsah +/- 30 mV – elektroda je otrávená nevratně a musí se vyměnit.
- Po opláchnutí umístit elektrodu do pufru 4 a zjistit hodnotu potenciálu v mV.
- Jestliže je napětí v rozmezí +/- 30 mV, elektroda je necitlivá. Když nepomáhá kontrola všech kontaktů a spojení, sonda je zřejmě vnitřně poškozená a musí se vyměnit.
- V případě napětí mezi 50 a 150 mV může být zanesená membrána. Opakovat zkoušku po jejím očištění. Když to nepomáhá, elektroda může být přestálá a musí se vyměnit.
- V případě napětí 150 a 250 mV, sonda je OK a chyba je zřejmě v pH metru.
- Když je napětí mezi 150 a 250 mV, ale kolísá, může být zablokovaná nebo špinavá diafragma. Jestliže nepomůže její vyčištění, elektroda se musí vyměnit.

Kontrola sondy podle výstupního napětí je nejlepší pro zjištění jejího stavu. Bohužel většina i dražších přístrojů tuto možnost nemá. Podotýkám, že nápad měřit napětí ze sondy, pomocí běžných multimetrů, byť se jeví jako správný, je úplně scestný. Problém není v samotném napětí, ale ve vnitřním odporu sondy, který zapříčiní, že připojení multimetru na svorky sondy



způsobí na sondě zkrat. Vnitřní odpor sondy se pohybuje ve stovkách megaohmů a vnitřní odpor multimetrů je většinou 1 megaohm. Možným řešením je měření pomocí kvalitního milivoltmetru.

### 2.3.8. Rozdělení pH metrů

- **Příruční pH testery**



Obr.7: Ukázka příručních testerů pH.

Přesnost bývá kolem  $\pm 0.1\text{pH}$  a rozhodně ne v rozsahu 0-14pH. Spíše tak 5-9pH. Cena kolem 1000,- Kč až 1800,- Kč. Vzhledem k jednobodové kalibraci a absenci měření teploty mají tyto přístroje velmi malé použití. Pro akvaristiku se však používají. Nutností je před každým měřením provést kalibraci. Cena nového přístroje je vysoká, a protože životnost sondy není nekonečná, je lepší zvážit nákup staršího přístroje vyšší kategorie. Případně pro orientační měření koupit kvalitní kapkové testy s úzkým rozsahem a dobrou rozlišovací schopností. Ty se přesností pomalu vyrovnají a hlavně výsledek hned je bez nutnosti kalibrace přístroje.

- **Běžné pH metry s dvoubodovou kalibrací a integrovanou nebo externí pH sondou.**

Přesnost bývá kolem  $\pm 0.05\text{pH}$  až  $\pm 0.02\text{pH}$  v širokém rozmezí pH a teplot. Cena kolem 1800,- Kč až 4500,- Kč. pH metr s dvoubodovou kalibrací a korekcí teploty je již přístrojem pro správné měření. Externí sonda umožňuje dobrou manipulaci při kalibraci i samotném měření. Pokud potřebujeme měřit přesně, musíme pamatovat na korekci teploty při kalibraci a měření. Pro akvaristiku je to ideální volba. V této kategorii pH metrů se nabízejí pH metry určené speciálně pro akvaristiku. Mají možnost nastavení požadované hodnoty pH, hystereze a pro

spínání zařízení ke zvýšení nebo snížení pH jsou vybaveny spínanou zásuvkou. Ceny těchto pH metrů se podle výrobce pohybují od 4500,- do 12000,- Kč.



Obr.8: Ukázka běžných pH metrů s dvoubodovou kalibrací



Obr.9: Ukázka pH metrů určených pro akvaristiku.

- **Standardní a profesionální pH metry s automatickou kalibrací a s měřením napětí pH sondy.**

Kvalita těchto přístrojů přesahuje potřeby akvaristiky. Nespornou výhodou je automatická kalibrace, automatické zohlednění teploty měřeného roztoku a hlavně kontrola kvality sondy i

upozorňování na potřebu kalibrace. Ceny těchto přístrojů dosahují často hranice 20.000,- Kč a mnohdy ji i překračují. Proto běžný nákup nového přístroje nepřichází pro akvaristu v úvahu.



Obr.10: Ukázka profesionálních pH metrů.

### 3. Rozbor způsobů měření teploty kapalin

Měření teploty vody v akváriu a její regulace patří k hlavním procesům, které musí akvarista zařídit pro správný chod nádrže. U každé rybky, kterou chce chovatel pěstovat, se dá zjistit doporučený rozsah teplot pro její chov a odchov. Některé druhy snášejí celkem velké teplotní rozmezí. Například karas stříbřitý - *Carassius gibelio* přežívá v teplotách mezi 2 až 25°C. Naproti tomu náročné ryby jako Terčovec hnědý - *Symphysodon aequifasciatus axelrodi* potřebuje teplotu v rozmezí 28 až 31°C. Abychom rybám zajistily správné životní podmínky, musíme teplotu vody v nádrži sledovat pomocí různých druhů teploměrů a zároveň udržívat její teplotu ve zvoleném rozsahu pomocí různých druhů topných těles, ať už s vlastním nebo přídavným řízením.

#### 3.1. Teplotní senzory

Teplota patří mezi jednu z mála veličin, která se nedá měřit přímo, ale pouze prostřednictvím jiných fyzikálních veličin. Měření teploty je tedy měření nepřímé.

Senzor teploty je funkční prvek, který tvoří vstupní blok měřicího řetězce a je v přímém kontaktu s měřeným prostředím. Podle fyzikálního principu se senzory teploty dělí na odporové, termoelektrické, polovodičové s PN přechodem, dilatační, optické, radiační, chemické, šumové, akustické, magnetické, kapacitní a aerodynamické. Podle styku s měřeným prostředím se senzory teploty dělí na dotykové a bezdotykové. Dle transformace signálu se senzory teploty dělí na aktivní a pasivní. Aktivní se působením teploty chovají jako zdroj elektrické energie.

Pasivní potřebují s výjimkou chemických indikátorů teplot elektrické napájení pro transformaci teploty na jinou fyzikální veličinu.

### 3.1.1. Odporové kovové teplotní senzory

Principem odporových kovových senzorů teploty je teplotní závislost odporu kovu. Kov si lze představit jako soubor kladných iontů umístěných v mřížkových bodech krystalové mřížky a tzv. elektronového plynu tvořeného souborem chaoticky se pohybujících elektronů. Pro malý rozsah teplot 0 až 100°C lze používat lineární vztah [2]:

$$R_t = R_0(1 + \alpha.t) \quad (3)$$

Kde:  $R_0$  ... odpor čidla při teplotě 0°C  
 $\alpha$  ... teplotní součinitel odporu

$$\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{100.R_0} \quad (4)$$

Kde:  $R_{100}$  je odpor čidla při teplotě 100°C.

Dalším základním parametrem odporových snímačů je poměr odporů čidla  $R_{100}$  při teplotě 100°C a  $R_0$  při teplotě 0°C. Tento poměr se označuje [2]:

$$W_{100} = \frac{R_{100}}{R_0} \quad (5)$$

Pro větší teplotní rozsahy již lineární vztahy nelze použít. Pro realizaci odporových kovových senzorů jsou nejrozšířenější: platina, nikl, Balco (Ni-Fe), měď a molybden. Vlastnosti základních materiálů používaných pro teplotní senzory jsou uvedeny v tab.2

materiál	$\alpha \cdot 10^2 (K^{-1})$	teplotní rozsah (°C)	poměr odporů $W_{100}$
platina	0,385 až 0,391	-20 až 850	1,3850
nikl	0,617 až 0,675	-70 až +200	1,6180
Ni-Fe	0,518 až 0,527	-100 až +200	1,462
měď	0,426 až 0,433	-50 až +150	1,4260

Tab.2: Vlastnosti základních materiálů teplotních senzorů.

### Odporové platinové senzory teploty

Platina se vyznačuje chemickou netečností, časovou stálostí a vysokou teplotou tání. U provozních snímačů teploty (Pt100) je normou IEC-751 předepsán poměr odporů  $W_{100} = 1,385$ . Platinové měřicí odpory se pro provozní použití dělí do dvou tolerančních tříd. Třída A je stanovena pro rozsah teploty -200 až 650°C a třída B pro rozsah teploty -200 až 850°C. Dále se vyrábějí vysokoteplotní snímače až do teploty 1100°C. Dlouhodobá stabilita je u Pt snímačů kolem 0,05% / 1000h [2].

Teplotní závislost měřicího odporu je pro rozsah teploty -200 až 0°C dán vztahem [2]:

$$R_t = R_0 [1 + At + Bt^2 + Ct^3 (t - 100)] \quad (6)$$

A pro rozsah teploty 0 až 850°C vztah [2]:

$$R_t = R_0 (1 + At + Bt^2) \quad (7)$$

kde:  $R_0 = 100\Omega$

$$A = 3,90802 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$$

$$B = -5,80195 \cdot 10^{-7} \text{K}^{-2}$$

$$C = -4,27350 \cdot 10^{-12} \text{K}^{-4} \text{ pro } t < 0^\circ\text{C}$$

$$C = 0 \text{ pro } t > 0^\circ\text{C}$$

Kromě základní hodnoty odporu  $R_0 = 100\Omega$  se vyrábějí snímače se základní hodnotou odporu 50, 200, 500, 1000, 2000 $\Omega$ .

### **Odporové niklové senzory teploty**

Niklová čidla se vyrábí především tenkovrstvou technologií. Výhodou niklových snímačů je velká citlivost, rychlá odezva a malé rozměry. Nevýhodou je omezený teplotní rozsah a vůči platině značná nelinearita, horší dlouhodobá stabilita a odolnost vůči působení prostředí. Podobně jako u platinových čidel se kromě základní hodnoty odporu  $R_0 = 100\Omega$  vyrábějí snímače se základní hodnotou odporu 200, 500, 1000 a 2000 $\Omega$ . Teplotní závislost čidla lze vyjádřit polynomem [2]:

$$R_t = R_0 (1 + At + Bt^2 + Ct^4 + Dt^6) \quad (8)$$

$$\text{kde: } A = 5,485 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$$

$$B = 6,65 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-2}$$

$$C = 2,805 \cdot 10^{-11} \text{K}^{-4}$$

$$D = 2,0 \cdot 10^{-17} \text{K}^{-6}$$

### **Odporové měděné senzory teploty**

Měď se používá v teplotním rozsahu -200 až +200°C. Pro závislost odporu měděného čidla na teplotě lze v rozsahu teplot -50 až +150°C použít lineární vztah (6), kde  $\alpha = 4,26 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$ . Pro rozsahy vyšší lze pak tuto závislost vyjádřit vztahy [2]:

$$R_t = A_1 R_0 [1 + A_2 (t + 200) + A_3 (t + 200)^2] \quad \text{pro } t -200 \text{ až } -50^\circ\text{C} \quad (9)$$

$$R_t = A_5 R_0 [1 + A_6 (t - 150) + A_7 (t - 150)^2] \quad \text{pro } t 150 \text{ až } 260^\circ\text{C} \quad (10)$$

Vzhledem k malé rezistivitě mědi a snadné oxidaci se měděné snímače teploty běžně nevyrábí. Výhodnou aplikací teplotní závislosti mědi je například přímé měření teploty měděného vinutí elektrických strojů pomocí měření odporu vinutí.

### **Konstrukce odporových kovových senzorů teploty**

Základní část odporového snímače teploty tvoří měřicí odpor. Měřicí odpor se vyrábí:

- drátkovou technologií
- tenkovrstvou technologií
- tlustovrstvou technologií

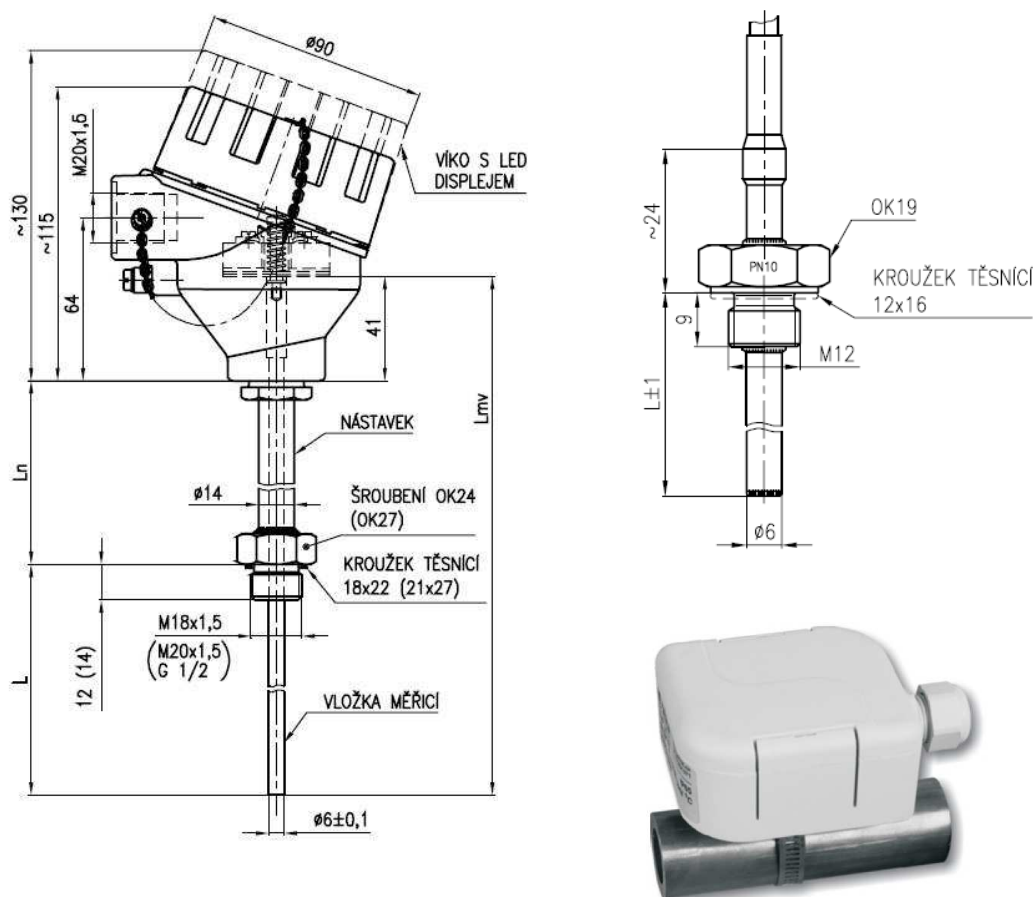
Drátkový měřicí odpor je tvořen stočeným drátkem o průměru od 0,007mm do 0,05mm, fixovaným do keramiky nebo je bifilárně navinuto na keramickém či skleněném tělísku a zataveno do skla. Měřicí odpor je obvykle uložen v ochranné trubici. Kromě spirálového uspořádání drátku se pro rozsah do 150°C vyrábějí snímače s drátkem navinutým na pertinaxové nebo slídové podložce nebo tenkovrstvou technologií. Tj. technikou napařování a iontovým leptáním na podložce Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (korundová keramika). Jmenovitý odpor se u napařovaných čidel přesně nastavuje nízkovýkonovým laserem. Vývody průmyslových měřicích odporů jsou ze speciálních Pt slitin, Ag nebo Cu a dle uspořádání se dělí na:

- dvouvodičové
- třívodičové
- čtyřvodičové
- s pomocnou smyčkou

Odporové snímače teploty se vyrábějí v těchto provedeních:

- odporové snímače teploty do jímky
- odporové snímače teploty s jímkou
- odporové snímače teploty bez jímky
- odporové snímače teploty tyčové
- odporové snímače teploty příložné

Odporové snímače teploty v provedení se standardní hlavicí dle DIN43729 jsou vybaveny výměnnou měřicí vložkou s jedním až třemi měřicími odpory. V současné době se do hlavičky umísťují elektronické obvody. Obvykle jsou tam umístěny převodníky na proudový výstupní signál 4 až 20mA, případně programovatelné převodníky umožňující komunikaci s řídicím systémem. Pro mechanicky náročné aplikace je vnitřní stonek ohebný.



Obr.11: Příklady mechanického provedení odporových senzorů. Vlevo se standardní hlavici DIN v provedení do jímky, vpravo nahoře bez hlavice s jímkou a vpravo dole příložný.

### 3.1.2. Polovodičové odporové senzory teploty

Polovodičové senzory teploty využívají stejně jako kovové odporové senzory teplotní závislost odporu. U polovodičových senzorů je dominantní závislostí koncentrace nosičů náboje  $n$  na teplotě dle vztahu [2]:

$$n = e^{\frac{\Delta E}{2kT}} \quad (11)$$

Kde  $\Delta E$  je šíře mezery mezi energetickými hladinami,  $k$  je Boltzmannova konstanta. Pro teplotní součinitel odporu platí [2]:

$$\alpha \approx \frac{\partial(\ln n)}{\partial T} \approx -\frac{\Delta E}{2kT} \frac{1}{T} \quad (12)$$

Teplotní součinitel odporu polovodiče je tedy záporný a je o  $\Delta E / (2kT)$  faktor větší než u kovů. Polovodičové senzory se dají rozdělit na termistory pozitivní a negativní a na monokrystalické odporové senzory.

## Termistory

Termistor je teplotně závislý odpor zhotovený z polovodičových feroelektrických keramických materiálů. Keramická technologie umožňuje výrobu termistorů ve tvaru disku, destičky, kapky, válečku a podobně. Výhodami termistoru jsou velká teplotní citlivost, malé rozměry, jednoduchý převod odporu na elektrické napětí nebo proud a možnost přímého měření odporu termistoru na větší vzdálenost. Nevýhodou je nelineární charakteristika. Termistory se podle své struktury dělí na polykrystalické a amorfny. V závislosti na použitém materiálu má termistor buďto velký záporný teplotní součinitel odporu – negativní termistor NTC nebo velký kladný teplotní součinitel odporu – pozitivní termistor PTC.

NTC termistory se vyrábějí práškovou technologií z kysličníků kovů jako je kysličník chromu, kobaltu, mědi, železa, manganu, niklu a titanu. Vylisované senzory se zpevňují slinováním za vysokých teplot. Teplotní rozsahy NTC jsou běžně -50 až +150°C.

Ačkoliv je teplotní závislost termistoru silně nelineární, je možné odporovou sítí docílit linearity vyhovující pro praxi. Základní linearizační zapojení je dáno připojením paralelního nebo sériového odporu. Při paralelním zapojení je linearizována paralelní kombinace termistoru s odporem a obvod napájen ze zdroje proudu. Při sériovém zapojení je linearizován protékající proud a obvod je napájen ze zdroje napětí. Hodnota paralelního odporu nebo sériového odporu je dána řešením rovnice pro inflexní bod pro teplotu  $T_i$  ve středu linearizované charakteristiky.

Při připojení termistoru do elektrického obvodu se zdrojem napětí nebo proudu dochází průchodem měřicího proudu k nárůstu jeho teploty vůči teplotě prostředí, ve kterém je umístěn. V teplotně ustáleném stavu je ztrátový elektrický příkon  $P$  na termistoru rovný tepelnému výkonu rozptýlenému do okolí. Nárůstem teploty dochází k chybě měření. Tuto chybu lze vyjádřit rovnicí [2]:

$$\Delta t = \frac{P}{D} = \frac{RI^2}{D} \quad (13)$$

kde  $D(WK^{-1})$  je zatěžovací konstanta. Slovně je možné zatěžovací konstantu definovat jako elektrický příkon potřebný k ohřátí termistoru o teplotní rozdíl  $\Delta t = 1K$  nad teplotu okolního prostředí. Výrobci obvykle uvádějí zatěžovací konstantu  $D(mW.K^{-1})$ . Konstanta  $D$  je ve skutečnosti proměnná veličina, závislá na řadě fyzikálních veličin prostředí a na přestupu tepla do tohoto prostředí a tedy i na geometrických rozměrech senzoru.

PTC termistory jsou termistory s kladným teplotním součinitelem odporu. Vyrábějí se z polykrystalické feroelektrické keramiky, například z titaničitanu barnatého ( $BaTiO_3$ ). Odpor PTC se stoupající teplotou nejprve mírně klesá. Teplotní součinitel je v této oblasti kolem  $1\%K^{-1}$ . Od tzv. Curieovy teploty dochází ke strmému nárůstu rezistivity materiálu. Po nárůstu o několik řádů pak hodnota odporu opět mírně klesá. Základním parametrem PTC je spínací teplota  $t_s$ , jejíž hodnota je dána teplotou, při níž je hodnota odporu  $R_s = 2 \cdot R_{min}$ . Spínací teplotu lze chemickým složením materiálu zvolit od 60 do 180°C. Stejně jako u NTC se projeví zatěžovací konstanta u PTC. Z důvodů použití v aplikacích se u PTC udává charakteristika



proud – napětí. Kromě standardní technologie se vyrábí PTC dotované křemíkem, u kterých je pracovní část charakteristiky téměř lineární. Využití PTC je v elektronických obvodech ve funkci tepelné ochrany, omezovače proudu, teplotní regulace apod..

### **Polovodičové monokrystalické senzory**

Monokrystalické senzory lze zhotovit z křemíku, germania a india včetně jejich slitin.

Monokrystalické Si senzory se vyrábí pro teploty  $-50$  až  $150^{\circ}\text{C}$ . Senzor je založen na nevlastním polovodiči typu N, t.j. s dominantní elektronovou vodivostí. Teplotní závislost rezistivity křemíku je v uvedeném rozsahu teplot dle dotační koncentrace příměsí dána teplotní závislostí pohyblivosti nosičů. Zvyšující se teplotou, podobně jako je tomu u kovů, dochází vlivem rozptylu nosičů náboje na mřížce polovodiče ke zmenšování pohyblivosti těchto nosičů a rezistivita polovodiče narůstá.

Pro větší rozsah teplot  $-100$  až  $450^{\circ}\text{C}$  lze použít senzory SiC. Senzor se vyrábí tenkovrstvou technologií vysokofrekvenčním napařováním na substrát  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

### **3.1.3. Monolitické PN senzory teploty**

Integrované monolitické senzory teploty jsou založeny na teplotní závislosti PN přechodu v propustném směru. Tyto teplotní senzory mají rozsah  $-55$  až  $150^{\circ}\text{C}$  a chybu měření 1 až 2%.

Diodové PN senzory teploty využívají strukturu Si, případně další struktury jako například galium-arsenid. Tranzistorové PN senzory jsou založeny na obdobném principu jako PN diody. Využívá se teplotní závislosti napětí přechodu báze-emitor v propustném směru.

Monolitické PN senzory teploty tvoří vlastní senzor teploty a elektronický obvod jediný monolitický prvek. Nejčastěji jsou založeny na dvojici bipolárních tranzistorů napájených ze zdrojů proudů. Výhodou tohoto diferenčního zapojení je potlačení vlivu teplotní závislosti proudu  $I_s$  a chyby způsobené oteplením polovodiče ztrátovým výkonem. V zahraniční literatuře jsou tyto obvody označovány jako PTAT (proportional to absolute temperature) obvody. Kromě bipolární technologie je pro tyto obvody používána CMOS technologie, případně CMOS technologie s p-n přechody nebo s bipolárními laterálními tranzistory.

V současné době jsou na trhu monolitické senzory teploty s integrovaným zesilovačem, se strukturou prvku odpovídající charakteristice Zenerovy diody a citlivostí  $10\text{mV}\cdot\text{K}^{-1}$ . Dále jsou v dnešní době nabízeny monolitické senzory teploty s vlastním řízením, pamětí a jednovodičovým výstupem pro seriovou komunikaci přímo s řídícím mikropočítačovým systémem (DS18B20 – Dallas Semiconductor).

### **3.1.4. Termoelektrické články**

Termoelektrické články jsou založeny na Seebeckově jevu. To je na jevu převodu tepelné energie na elektrickou. Seebeckův jev vzniká tím, že v teplejší části vodiče mají nositelé náboje větší energii a proto difundují ve větším množství do chladnějších míst než nositelé z chladnějších míst do teplejších. Tím vzniká jednostranná převaha nábojů kladných nebo záporných. Mezi konci vodičů existuje napětí  $\Delta E$ , pokud je mezi nimi teplotní rozdíl  $\Delta T$ . Pro

termoelektrické napětí se používá veličina elektromotorické napětí  $E$  [V]. Elektromotorické napětí zdroje je práce dodaná zdrojem do elektrického obvodu, dělená elektrickým nábojem, který prošel obvodem. Termoelektrický článek je vždy tvořen dvojicí vodičů (polovodičů). V uzavřeném obvodu realizovaném ze dvou materiálově různých vodičů nebo polovodičů protéká elektrický proud tehdy, mají-li oba spoje rozdílnou teplotu. Pokud obvod na kterémkoliv místě rozpojíme, bude na vzniklých svorkách elektrické napětí.

Jednotlivé páry termoelektrických materiálů pro výrobu termoelektrických článků jsou ve světě normalizovány. Byly vybrány materiály zajišťující přijatelnou nelinearitu závislosti termoelektrického napětí na teplotě pro daný teplotní rozsah, odolnost proti korozi, chemickým vlivům a ionizačnímu záření. Označení jednotlivých termočlánků se dle doporučení IEC provádí velkými písmeny.

- TYP K – složení NiCr-NiAl (chromel-alumel) je vhodný pro oxidační a inertní atmosféru, je necitlivý pro neutronový tok, není vhodný pro měření ve vakuu.
- TYP T – složení Fe-CuNi (železo-konstantan) je nejlepší termočlánek pro nízké teploty. V redukční, oxidační atmosféře a ve vakuu ho lze použít až do teploty 700°C.
- TYP J – složení NiCrSi-NiSiMg (nicrosil-nisil) má velmi stabilní charakteristiku až do 1300°C. Je vhodný pro cyklické změny teploty a dále je vhodný pro jadernou energetiku, protože je odolný vůči neutronovému toku.
- TYP E – složení NiCr-CuNi (chromel-konstantan) je vhodný pro vakuum a středně oxidační atmosféru, kde se dá použít bez ochranného krytí.
- TYP R – složení PtRh13-Pt je používán pro měření vysokých teplot až do 1800°C, je odolný vůči oxidaci a korozi, ale vždy musí být v ochranném provedení.
- TYP S – složení PtRh10-Pt má podobné vlastnosti jako typ R
- TYP B – složení PtRh30-PtRh6 je použitelný až od teploty 100°C.
- TYP G – složení W-WRh je vhodný pro extrémě vysoké teploty, nepoužíván se pro teploty pod 400°C. Je chemicky stabilní a používá se jak v oxidační atmosféře tak v inertní atmosféře, ve vakuu a ve vodíku.
- TYP C složení WRh5-WRh26 má obdobné vlastnosti jako typ G.

### Konstrukce termoelektrických článků

Drátové termoelektrické články jsou tvořeny dvěma kovovými větvemi, uloženými v izolačních trubičkách. Průměr termoelektrických vodičů je od 0,5 do 3,5 mm. Obvykle se používají keramické trubičky. Konstrukční uspořádání se dělí na snímače do jímky, s jímkou, bez jímky, tyčové sondy k měřícím přístrojům a speciální sondy.

Plášťové termočlánky mají termoelektrické vodiče uloženy v kovovém plášti ve tvaru trubky. Vodiče jsou v plášti izolovány zhutnělou práškovou minerální izolací z MgO nebo Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Vnější průměr pláště se vyrábí v rozsahu 0,1 až 8 mm. Plášť je z korozivzdorných ocelí a vyrábí se až do délky 200 m. Provedení plášťových kabelů se dělí na izolované, uzemněné a otevřené. Izolované provedení chrání termoelektrický spoj proti vlivům prostředí a navíc lze vhodným zapojením potlačit vliv elektromagnetického rušení a zemních smyček. Oproti uzemněnému a otevřenému provedení má izolované provedení nejdelší dobu odezvy. Kratší dobu odezvy má uzemněné provedení a nejrychlejší odezvu má otevřené provedení. Otevřené

provedení je ale nepoužitelné pro agresivní a vlhké prostředí. Velkou výhodou plášťových termočlánků je kromě rychlé odezvy vysoká odolnost proti tlakovým a teplotním rázům, malé rozměry a snadná ohebnost.

### **3.1.5. Dilatační teploměry**

Dilatační teploměry jsou založené na teplotní roztažnosti pevných látek, kapalin a plynů. Dle konstrukce se dilatační teploměry dělí na tyčové, bimetalické, bimateriálové, skleněné, kapalinové tlakové, parní tlakové a plynové tlakové.

#### **Tyčové teploměry**

Tyčové teploměry jsou založeny na teplotní délkové roztažnosti dvou konstrukčních dílů z pevných látek, které jsou spojeny v jediném místě. Čidlo tyčového teploměru je nejčastěji tvořeno trubicí délky  $l$  z kovu s velkým teplotním součinitelem délkové roztažnosti, uvnitř které je tyč z materiálu s malým teplotním součinitelem roztažnosti. Tyčové teploměry se používají hlavně v termostatech jako snímače dvoupolohových regulátorů teploty.

#### **Bimetalické teploměry**

Bimetalické teploměry jsou založeny na rozdílné teplotní roztažnosti dvou kovových materiálů  $\Delta\alpha = \alpha_1 - \alpha_2$ . Tyto materiály jsou uspořádány ve tvaru pásků, které jsou podélně svařeny. Čím bude větší rozdíl teplotní roztažnosti použitých materiálů, tím bude větší citlivost teploměru. Materiály Al, Cu, Cr, Au, Fe, Ni, Sn, Ti, W a Invar používané pro výrobu bimetalických čidel mají teplotní součinitel délkové roztažnosti v rozmezí  $(1,7 \text{ až } 24) \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ . I když je volba dvou materiálů s co největším rozdílem  $\Delta\alpha$  důležitá, je nutné přihlédnout k požadovanému pracovnímu rozsahu teplot, tepelné a elektrické vodivosti a měrné tepelné kapacitě materiálů. Pro pásek s co možná nejmenší hodnotou  $\alpha_2$  se obvykle používá slitina Invar (64% Fe, 36% Ni). Využití bimetalických snímačů v teplotním rozsahu  $-100 \text{ až } +500^\circ\text{C}$  je jednak ve funkci akčních členů ve dvoupolohových regulátorech teploty, bimetalických pojistek, různých teplotních kompenzací a jednak jako snímačů v teploměrech.

#### **Bimateriálová čidla**

Při výrobě mikroaktuátorů a mikrosenzorů se aplikací mikroelektronické tenkovrstvé technologie vyrábějí teplotní senzory na stejném principu jako bimetalická čidla, ale jako materiál se používá kombinace kov (Al) – polovodič (Si, n-Si, p-Si, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>). Hodnoty specifického zakřivení jsou například u hliníku  $24 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$  a u křemíku  $(4,7 \text{ až } 7,6) \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ .

#### **Skleněné teploměry**

Skleněný teploměr je dilatační teploměr založený na teplotní objemové roztažnosti kapaliny ve skle. Teplotní závislost objemu kapaliny na teplotě není přesně lineární, ale pro malou odchylku od lineární závislosti se běžně uvádí vztah [2]:

$$V = V_0(1+\beta t) \quad (14)$$

Kde  $\beta$  je součinitel teplotní objemové roztažnosti. Skleněný teploměr se skládá z teploměrové baňky, měřicí kapiláry, obalové trubice a stupnicové destičky. Některé skleněné teploměry mají z důvodu ochrany před zničením při přehřátí rozšířenou kapiláru nad nejvyšší značkou. Teplota se určuje z výšky hladiny kapaliny v měřicí kapiláře. Teplotní rozsah skleněných teploměrů je -190 až 600°C. Jako teploměrová kapalina se převážně používá rtuť ve vakuové kapiláře nebo pro vyšší teploty v kapiláře s tlakovým dusíkem.

Kapalina	Rozsah [°C]	Teplotní součinitel objemové roztažnosti $\beta$ [K <sup>-1</sup> ]	Plnění kapiláry
rtuť	-38 až 350	$1,6 \cdot 10^{-4}$	vakuum
rtuť	do 600	$1,6 \cdot 10^{-4}$	tlakový dusík
toluol	-80 až +100	$1,03 \cdot 10^{-3}$	vakuum
pentan	-200 až +30	$1,145 \cdot 10^{-3}$	vakuum
etanol	-80 až +60	$1,104 \cdot 10^{-3}$	vakuum

Tab.2: Pracovní rozsahy skleněných teploměrů.

### 3.1.6. Speciální dotykové senzory teploty

#### Akustické teploměry

Akustické teploměry jsou založeny na teplotní závislosti rychlosti šíření zvuku v plynném nebo pevném prostředí. Z hlediska vyhodnocení rychlosti šíření zvuku lze použít různých metod:

- Rezonanční metoda se zpětnovazebním oscilátorem využívá teplotně závislé rychlosti šíření zvuku v plynném prostředí.
- Pulsní metoda využívá teplotní závislosti rychlosti šíření zvuku v pevném prostředí a je založena na vyhodnocení doby průchodu akustického pulsu procházející tyčí od vysílajícího akustického měniče k přijímacímu nebo od diskontinuity do konce senzoru.

Akustické teploměry se používají jak pro velmi nízké (2 až 20 K) tak i vysoké teploty až 3000°C.

#### Mezi speciální teploměry také řadíme:

- Krystalové teploměry - Pro měření teploty lze využít teplotní závislosti rezonančního kmitočtu křemenného výbrusu.
- Šumové teploměry – Na vývodech každého rezistoru je v důsledku teplotně závislého volného pohybu elektronů ve vodivostním pásmu měřitelné elektrické napětí, které má stochastický charakter. Toto napětí se označuje jako tepelný šum. Energie tohoto šumu je rovnoměrně rozložena po celém frekvenčním pásmu. Výhodou šumového teploměru je

nezávislost na prostředí. Nevýhodou je velmi malé výstupní elektrické napětí. Jestliže bude například odpor  $R = 100\Omega$ ,  $\Delta f = 100 \text{ kHz}$  a teplota  $300 \text{ K}$ , pak  $u_{ef} = 4 \cdot 10^{-7} \text{ V}$  [2].

- Magnetické teploměry – jsou založeny na teplotní závislosti magnetické susceptibility paramagnetických solí. Magnetické teploměry jsou vhodné pro měření velmi nízkých teplot od  $10\text{mK}$  do  $80\text{K}$ .
- Optické vláknové senzory teploty – vznikly využitím nežádoucích vlivů okolního prostředí na parametry optických sdělovacích kabelů. Měřená teplota moduluje optický signál, který je vyslán do vlákna zdrojem záření a detekován polovodičovou diodou. Podle způsobu modulace lze optické senzory rozdělit na senzory s modulací amplitudovou, fázovou, polarizační, vlastní a nevlastní.

#### **4. Možnosti řízení v akvaristice**

Pro řízení chodu akvária lze použít několik druhů řízení, níže popíšu jednotlivé druhy a uvedu jejich výhody a nevýhody.

##### **4.1. Neřízené akvárium**

Absolutně neřízené akvárium je sice teoreticky možné, ale hovořit by se takto dalo o prvopočátcích akvaristiky, kdy se akvária vyhřívala lihovým kahanem. I když v té době vlastně řízení bylo, ale ruční a mnohem náročnější. Dnes je možnost neřídit také. Pokud si někdo postaví akvárium na vhodné místo v pokoji, tak kromě nepřetržitě běžícího čerpadla filtru, nejsou pro chod akvária žádné další požadavky. Bohužel bez čerpadla akvárium moc dlouho nevydrží, zjistil to i p.Loyd už v roce 1861. Když bude teplota v pokoji udržovaná v rozumných mezích, určitě by bylo možné takto chovat některé rybky i rostliny. Nyní přejdu k akváriím, které u nás přece jenom najdeme častěji. Tyto akvária většinou obsahují minimální avšak plně dostačující zařízení pro svůj provoz. Za minimum budeme považovat filtraci, osvětlení a topení. Prakticky ve všech akváriích je osvětlení řízeno.

- Výhody – nízké pořizovací náklady.
- Nevýhody - teplota a osvětlení akvária závislé na okolním prostředí.

##### **4.2. Akvárium řízené spínacími hodinami**

Tento způsob řízení je vůbec nejrozšířenější a umožňuje až překvapivě komfortně řídit techniku v akváriu. Základní funkcí spínacích hodin bývá řízení osvětlení. Pokud budu uvažovat digitální spínací hodiny, je možné nastavit dobu sepnutí a vypnutí osvětlení s přesností na minuty. Pokud použiji dvoje případně dvoukanálové spínací hodiny, můžu rozsvícení rozdělit na polovinu a tak částečně simulovat rozednívání a stmívání. Výhodou většiny spínacích hodin je vnitřní záložní baterie, která zálohuje samotné hodiny. Tak při výpadku proudu nepřijdu o nastavené údaje. Pozor však musím dát při výběru typu. Některým hodinám při výpadku proudu odpadne relé a po obnovení už zůstane vypnuté. Naskočí až při novém sepnutí hodin dle jejich programu. Hodiny, které používají bistabilní relé, tuto nečnost nemají. Elektronika přesune relé pouze krátkým impulzem do požadované polohy a to v ní již setrvá. Výpadek proudu nemá na polohu relé vliv. Vhodné je i použití spínacích hodin s podsvíceným displejem, ve skřínce pod

akváriem nebývá často osvětlení. Spínacími hodinami je možné řídit prakticky cokoliv, ať se jedná o spínání CO<sub>2</sub>, dávkování hnojiva či krmení.

Výrobci je opravdu mnoho, ale pokud hodlám použít více, než dvoje spínací hodiny, je rozumné použít místo provedení do zásuvky, provedení na DIN lištu, tedy do rozvaděče. Malý plastový rozvaděč i s kouřovým krycím sklem vypadá mnohem lépe než změt' prodlužovacích šňůr se spínacími hodinami v zásuvkách. Do takového rozvaděče můžu umístit mimo spínacích hodin i jističe, kterými jistím vyvedené zásuvky pro osvětlovací tělesa, čerpadla, topení, apod. Velice vhodné je instalovat do rozvaděče i proudový chránič s jmenovitým proudem 30mA.

- Výhody - snadná a rychlá realizace, rozumné cenové náklady, spolehlivost, jednoduchost obsluhy.
- Nevýhody - při velkém počtu hodin vzniká chaos a zapojení není přehledné, nejde realizovat složitější řízení.

#### **4.3. Akvárium řízené mikroprocesorem**

Možnost řídit akvárium pomocí MCU napadlo asi již hodně elektroniků - akvaristů. Vypadá to vcelku jednoduše. Navrhnou zapojení, vyrobím zařízení, napíši program. Vlastně ono to takhle jednoduché i je, akorát to přináší nečekané komplikace při případné realizaci. Pokud si přesně nerozmyslím, co od zařízení budu očekávat, nemusí to tam jít později dodělat. Konstrukce by měla zvládnout i nějaké to rušení (mixér, start zářivek, vysavač). Procesory se rádi zasukují, a i když se umí sami resetovat, nemuselo by na ten krátký okamžik všechno vypadnout. Pokud se přes návrh a konstrukci úspěšně přeneseme, zbývá napsat program. A to bývá většinou běh na dlouhou trať.

- Výhody - možnost realizace pěkného řízení za rozumnou cenu, možnost rozšiřování zařízení o další funkce.
- Nevýhody - potřeba neskutečně mnoho času pro návrh a realizaci.

#### **4.4. Akvárium řízené počítačem**

Princip je vlastně podobný jako řízení mikroprocesorem. Procesor se také většinou použije jako rozhraní mezi PC a řízenými prvky. PC pak jenom do procesoru posílá data zapni/vypni a on posílá zpět zapnuto/vypnuto. Procesor tak nevykonává žádné složité operace a veškeré řízení přebírá PC. V PC je možné napsat velice přehledný a graficky pěkný program, použitelných programovacích jazyků je mnoho.

- Výhody - cenově přijatelné řešení, vysoký komfort řízení a vizualizace, při poruše PC stačí nahrát program do jiného.
- Nevýhody - zabere příliš mnoho místa, spotřebovává hodně el. proudu (přes noc i víc než akvárium), spolehlivost běžného PC není zrovna velká, hlučnost ventilátorů v PC.

#### 4.5. Akvárium řízené PLC

PLC, tedy programovatelný logický automat, je pro své okolí taková černá skříňka. Funkci PLC si lze vysvětlit následovně. PLC načte stav všech svých vstupů, provede svůj program a podle výsledků programu nastaví výstupy. Tento proces se neustále opakuje. Programové možnosti PLC jsou velice rozdílné. Nejjednodušší, takzvaná logická relé, mají určitý malý počet vstupů a výstupů. Program umožňuje používat logické rozhodování (jeli in A=1 a in B=1 tak out X=1), časování (jeli in A=1 10s tak out X=1), čítání (pokud in A=1/0 nastalo 12x tak out X=1), případně využívat LCD displej relé a jeho tlačítka. Složitější instrukce většinou nebývají k dispozici.

Vyšší řada PLC mívá větší počet vstupů a výstupů, v základním provedení bývají i analogové vstupy, případně komunikační rozhraní. Také jsou větší možnosti rozšíření, přidáním dalších karet. Program umožňuje složitější výpočty  $+$ ,  $-$ ,  $*$ ,  $/$ , umožňuje rozhodování  $<$ ,  $>$ ,  $=$ ,  $<=$ ,  $=$ , případně je možné používat základní funkce proporcionálních regulací.

Nejvyšší řada PLC automatů bývá řešená již v základu modulově. Minimální konfigurace se většinou skládá z napájecí části, řídicí jednotky a závěrné části (pokud je potřeba). Vložením příslušných modulů získáváme systém podle našich požadavků. Moduly jsou vstupní, výstupní, analogové DA i AD, komunikační RS232/485/422/CAN/PROFIBUS-DP, pro řízení servopohonů apd. Dostupných funkcí je mnoho (i několik set). Je možné pracovat s čísly s desetinou čárkou, porovnávat a vyhledávat ve skupině čísel i textů, používat goniometrické funkce, apod.

Řízení pomocí PLC je nejspolehlivější, bohužel má i své stinné stránky. Nejhorší bývá opatřit si vhodné PLC. Pokud nepočítám nákup nového případně použitého zařízení za hodně peněz, již moc možností není. Občas se dá starší PLC demontovat z již vyřazených strojů. Je také možnost sehnat "porouchané" moduly, které mají vadný třeba jenom jeden vstup. Další záležitostí je opatření si programu pro programování PLC. Pokud s ním nepracujete v práci, je to na Vás jak si jej opatříte. Dejme tomu že již máte vše potřebné. Pak stačí jenom nainstalovat, připojit vstupy a výstupy a napsat program. Program pro PLC se píše snadno. Výrobci mají připravené funkce, které stačí vhodně použít.

- Výhody - vysoká spolehlivost a snadnost programování.
- Nevýhody – hlavně vysoká pořizovací cena.

#### 4.6. Řízení teploty

Topení se časem neřídí. Teplotu udržujeme trvale na požadované hodnotě a většina topení má již řízení teploty zabudováno v tělese. I zde se mohou objevit některá úskalí. U "levných" topení může po relativně krátké době dojít k poruše topné spirály. Konstrukce a materiály spirály jsou bohužel podřízené ceně. U kvalitních topení by tato porucha neměla prakticky nastat. Jiná situace je však u regulace teploty. Tam by se topení dala rozdělit na dva druhy a to s bimetalem a elektronické. Řízení teploty bimetalem je poměrně málo přesné. Nastavení teploty bývá neopakovatelné, tj. po přesunutí stavítka jinam a zpět na výchozí místo nemusí být udržována stejná teplota. Pro akvaristiku je však přesnost dostačující a záleží spíše na kvalitě konstrukce. Zde se pozná opravdu kvalitní výrobek. Elektronicky řízené topení

udržuje teplotu přesně a životnost je vzhledem k absenci pohyblivých dílů neomezená. Spolehlivost je tak podstatně větší. Další možností je připojit klasické topení na nadřazený regulační systém, který ho bude řídit. Z hlediska možné poruchy je toto nejlepší řešení, protože při poruše řízení se topení vypne na jeho nastavené hodnotě a naopak při poruše topení (spínač zůstane sepnutý) ho vypne přídatné řízení. Takže ani v jednom případě nemůže dojít k přetopení nádrže.

## **5. Návrh řídicího mikropočítačového systému pro akvárium**

Před vlastním návrhem je nutné si stanovit veškeré požadavky na navrhovaný systém.

### **5.1. Požadavky na navrhovaný systém**

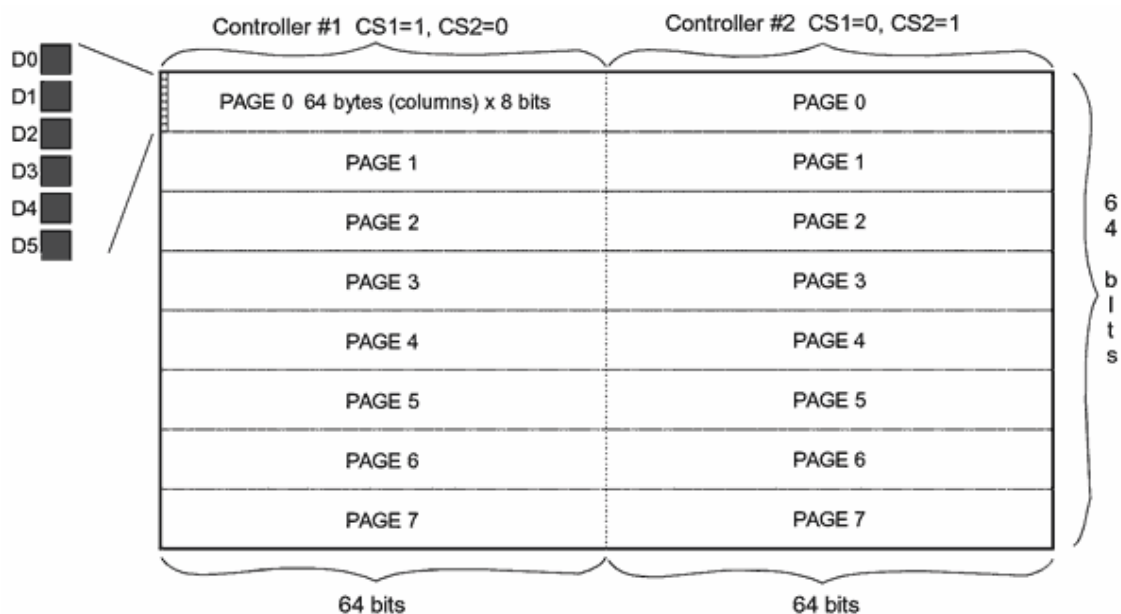
Nejprve si zadám vše, co by měl navrhovaný systém umět a splňovat:

- Řídit osvětlení akvária. V nastavenou dobu ho zapnout a vypnout. Zapínání a vypínání provádět postupným zesilováním a zeslabováním intenzity osvětlení. U ryb se tímto předejde tzv. světelnému šoku, při sepnutí osvětlení s plnou intenzitou.
- Měřit a udržovat teplotu vody v nádrži na nastavené hodnotě.
- Měřit a udržovat hodnotu pH vody v nádrži na nastavené hodnotě.
- Při návrhu zapojení počítat s připojením dalšího technického vybavení nádrže a to: spínání chlazení, spínání nočního osvětlení a spínání dávkovacího čerpadla na tekutá hnojiva.
- Měřené hodnoty zobrazovat na přehledném LCD displeji. Měl by zobrazovat aktuální čas, nastavenou a skutečnou hodnotu pH, nastavenou a skutečnou hodnotu teploty, případně také zadanou uhličitánovou tvrdost vody a přepočítanou hodnotu obsahu pH v mg/l.
- Zařízení rozdělit na dvě části a to část řídicí a část výkonovou. Je to myšleno kvůli bezpečnosti, protože kolem krytu akvária se často pracuje s vodou. Výkonová část bude připojená zařízení spínat přes 230V, proto je lepší tuto část oddělit.
- Při návrhu se snažit o možnost realizace na jednostranné desce plošných spojů. Je to z důvodu možnosti výroby zařízení v amatérských podmínkách. Pokud by se zařízení navrhovalo pro sériovou výrobu, použila by se dvou a nebo vícevrstvá technologie výroby DPS.

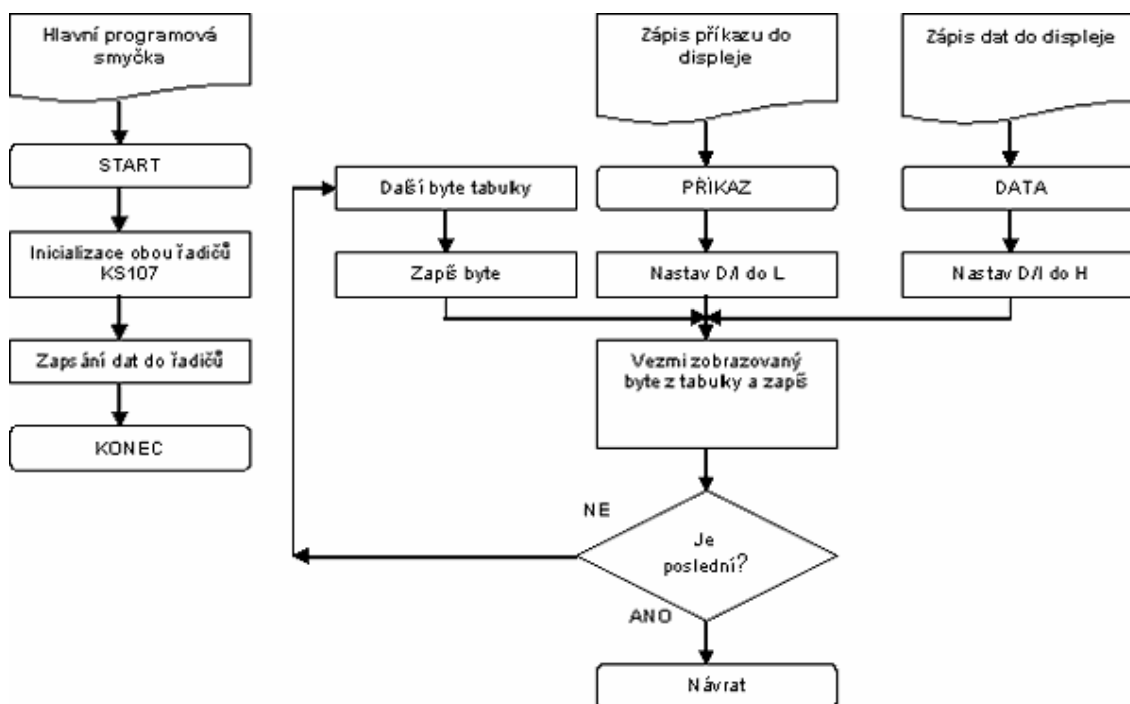
### **5.2. Volba a připojení zobrazovací jednotky LCD**

Jako zobrazovací jednotku jsem zvolil grafický LCD displej ATM12864D-FL-YBW. Jedná se o displej s rozlišením 128 x 64 bodů, který je osazen řadiči Samsung KS107. Tyto řadiče nevynikají žádnou velkou inteligencí, pouze umožňují zobrazit na displeji body zapsané do paměti řadiče. Pro obsluhu celého displeje jsou použity řadiče dva. Displej je rozdělen na dvě poloviny a každá je řízena jedním z řadičů. Tím vzniknou dvě oblasti, kde každá z nich je dále rozdělena na 8 stránek po 64 bytech viz obr.12. Každý bit paměti řadiče udává, zda daný bod displeje svítí nebo nesvítí.





Obr.12: Mapování paměti displeje ATM12864D-FL-YBW

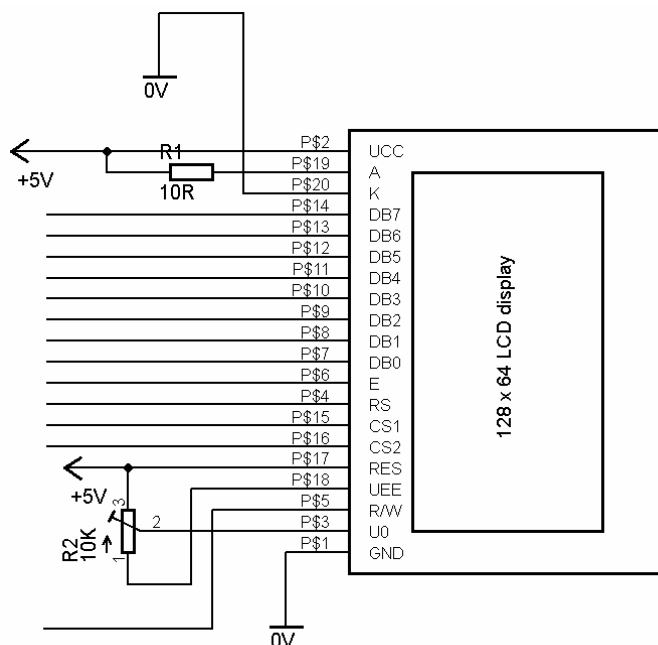


Obr.13: Vývojový diagram pro programování displeje s řadičem KS107

Data je třeba do paměti uložit tak, aby se na displeji rozsvítil požadovaný obrazec. Každý řadič je nutno obsluhovat zvlášť a k tomuto účelu slouží signály CS0 a CS1, které udávají s kterou

Vysoké množství adresovaných bodů klade na řídící mikroprocesor vysoké paměťové nároky, při rozměru obrázku 128 x 64 je zapotřebí 1024 Byte programové paměti. Pro obrázky s pravidelným tvarem nebo s převahou prázdných ploch je možné zavést kompresi, která výrazně snižuje paměťové nároky u řídícího mikroprocesoru. Transformaci obrázků do kódu mikroprocesoru lze usnadnit použitím aplikace pro automatickou konverzi a kompresi obrázků z formátu \*.BMP do programového kódu. Aplikace Image Converter umožňuje velmi snadnou a rychlou konverzi vašich obrázků do tabulky pro LCD grafický display (grafický modul) připojený k mikroprocesoru. Image Converter umožňuje konverzi obrázků do tří typů kompresních formátů (None, Zero a Full) a do čtyř programovacích jazyků (ASM, Pascal, Basic a C). Ke své činnosti vyžaduje operační systém Windows 9x / Me, Windows NT / 2000 / XP.

- None (0x00) - Konvertovaná data plně odpovídají obrázku (beze změn). Tento typ konverze je výhodný pro nepravidelné obrázky.
- Zero (0x01) - Data jsou uložena v jednoduchém typu komprese. Při výskytu Byte s hodnotou nula vždy další Byte za touto nulou znamená počet výskytů těchto nul. Konverze je výhodná pro obrázky s převahou bílých (prázdných) ploch.
- Full (0x02) - V tomto typu konverze za každým Byte následuje informace o počtu výskytů tohoto Byte. Konverze je vhodná pro pravidelné obrázky.



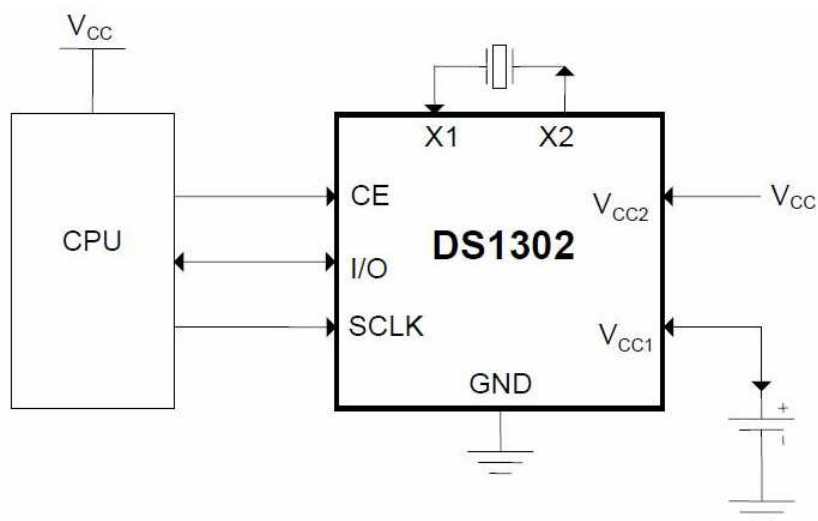
Obr.14: Zapojení LCD ATM12864D-FL-YBW.

Na obr.14 je zapojení LCD displeje ATM12864D-FL-YBW. Piny DB0 až DB7 jsou připojeny k jednomu portu mikrokontroléru. Řídící piny E, RS, CS1, CS2 a R/W zabírají část

dalšího V/V potu mikrokontroléru. Trimrem R2 se řídí kontrast LCD. Konkrétní připojení je v celkovém schématu zapojení řídicí jednotky (viz. příloha 1).

### 5.3. Zdroj reálného času

Jelikož řídicí jednotka bude spínat jednotlivá zařízení v nastavenou dobu, je zapotřebí řídicí jednotku vybavit zdrojem reálného času. Ten zajistí, že při výpadku napájecího napětí nedojde ke ztrátě časového údaje. Jako obvod reálného času jsem zvolil typ DS1302 od Dallas Semiconductor. Tyto obvody sice nemají vnitřní baterii, ani krystal, za to však mají srozumitelné ovládání a využívají minimální počet pinů pro komunikaci s mikrořadičem. Obvod DS1302 komunikuje s mikroprocesorem po třech vodičích. Signál RESET aktivuje komunikaci s DS1302, signál SCLK potvrzuje platná data a nakonec signál SDATA, který data přijímá, ale i odesílá. Komunikace je dvoubytová. Nejprve se odešle příkazový byte a následně se odešle byte s daty, nebo přijme byte s daty. MSB bit příkazového bytu je vždy log. 1, jinak by nešlo do obvodu zapisovat. Příkazový byte slouží jak pro čtení tak zápis z DS1302. Obvod DS1302 je rovněž vybaven pamětí EEPROM s 31 paměťovými místy, více informací v datasheetu. Data se posílají od méně významného bitu po nejdůležitější (od LSB po MSB), tedy bit 0, 1, 2...



Obr.15: Blokové schéma zapojení DS1302

Příkazový byte je v prvních dvou sloupcích tabulky tab.3. Je vymyšlen tak, aby vždy MSB bit příkazového bytu byl v logické 1. V dalších sloupcích jsou popsána data, která se odesílají, respektive přijímají po odeslání příkazového bytu. Za zmínku stojí bit 7 (WP - Write Protect) z bytu 0x8E, který je třeba před jakoukoliv komunikací vynulovat, aby bylo možné do DS1302 zapisovat. Dále pak bit 7 (12/24) pro byty 0x85 a 0x84 nastavíme rovněž do 0, neboť používáme 24 hodinový cyklus. Obvod umožňuje i zadání dne v týdnu.

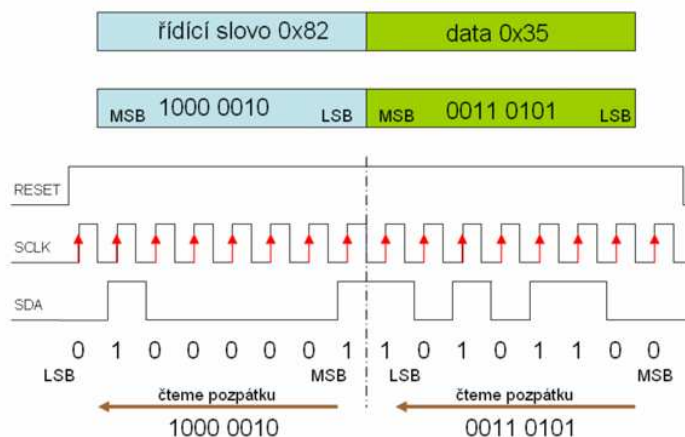
Před samotným zahájením přenosu je třeba aktivovat linku RESET. Dále pak odesíláme command byte tak, že nastavíme linku SDA do potřebné logické úrovně a následně aktivujeme

puls na lince SCLK. Náběžná hrana tohoto pulsu potvrzuje platná data. Přenos se ukončí shozením signálu RESET do logické úrovně 0.

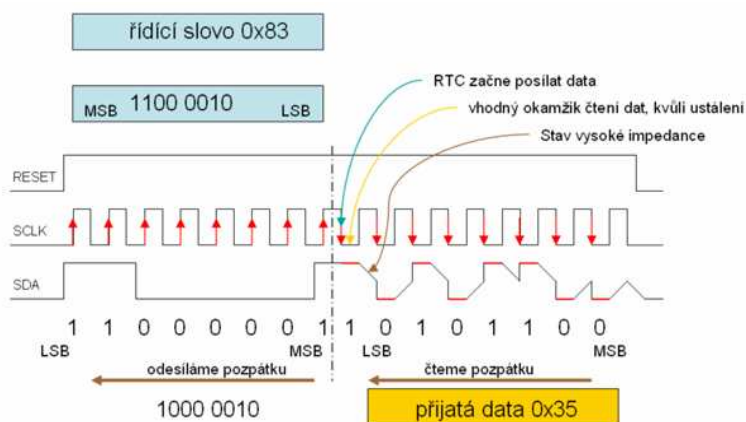
### RTC

READ	WRITE	BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0	RANGE
81h	80h	CH	10 Seconds			Seconds				00–59
83h	82h		10 Minutes			Minutes				00–59
85h	84h	12/24	0	10 AM/PM	Hour	Hour				1–12/0–23
87h	86h	0	0	10 Date		Date				1–31
89h	88h	0	0	0	10 Month	Month				1–12
8Bh	8Ah	0	0	0	0	0	Day			1–7
8Dh	8Ch	10 Year				Year				00–99
8Fh	8Eh	WP	0	0	0	0	0	0	0	—
91h	90h	TCS	TCS	TCS	TCS	DS	DS	RS	RS	—

Tab.3: Význam jednotlivých byte při komunikaci s DS1302.



Obr.16: Princip zápisu do DS1302



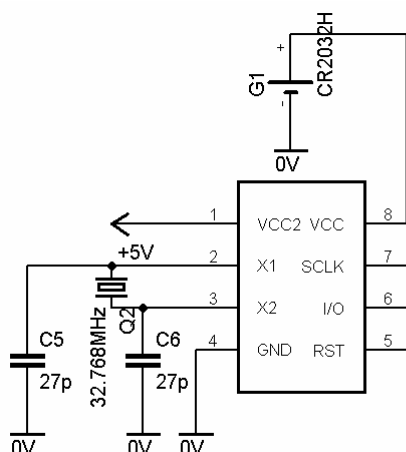
Obr.17: Princip čtení z DS1302

Čtení z obvodu DS1302 je trochu složitější. Aktivace linky RESET a odeslání příkazového bytu je stejné jako v případě zápisu do obvodu DS1302. Ovšem první sestupná hrana z posledního pulsu potvrzuje platná data na lince SDA. Tato data jsou platná po celou dobu signálu SCLK v logické úrovni 0. Po náběžné hraně signálu SCLK přejde SDA do stavu vysoké impedance, čímž hodnota napětí "plave". Při další sestupné hraně se potvrzují nová platná data. Přenos se ukončí shoením signálu RESET do logické úrovně 0.

Příklad rutin pro komunikaci s DS1302:

- `init_DS1302` ... nastaví komunikační linky do klidového stavu
- `imp_DS1302` ... vytváří hodinový puls na výstup SCLK
- `read_DS1302` ... načte obsah z jedné adresy DS1302 a vrátí data
- `write_DS1302` ... zapíše data na určitou adresu do DS1302

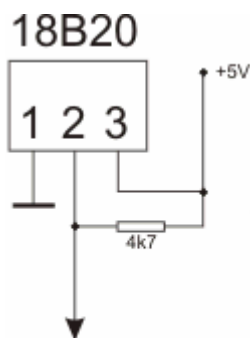
Na obr.18 je zapojení obvodu DS1302, připojení je v celkovém schéma zapojení (viz. příloha1).



Obr.18: Zapojení obvodu DS1302

#### 5.4. Teplotní senzor

Jako teplotní senzor jsem zvolil pro řídicí jednotku senzor DS18B20 od Dallas Semiconductor. DS18B20 je běžně dostupný digitální teploměr, který je schopen měřit v rozsahu  $-55^{\circ}\text{C}$  až  $+125^{\circ}\text{C}$  s přesností  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  garantovanou v teplotním rozsahu  $-10^{\circ}\text{C}$  to  $+85^{\circ}\text{C}$ . Data jsou ze senzoru získávána pomocí jedno-vodičového seriového rozhraní (1-wire interface) s uživatelsky programovatelnou přesností 9 - 12 bitů (tzn. rozlišení  $0.5 - 0.0625^{\circ}\text{C}$ ). Pro komunikaci se používá jeden datový a dva napájecí vodiče (GND, VDD, DQ). Napájecí napětí VDD se může pohybovat v rozmezí 3.3V až 5.5V. Mimo to lze senzor provozovat v tzv. parazitním režimu využívajícím pouze dvou vodičů. Já jsem použil klasické třívodičové zapojení a napájecí napětí 5V.



Obr.19: Jednoduché zapojení DS18B20.

Sběrnice 1-Wire, navržená firmou Dallas Semiconductor, umožňuje připojit několik zařízení k řídicí jednotce prostřednictvím pouhých dvou vodičů. Sběrnice má jeden řídicí obvod (master) a jeden či více ovládaných zařízení (slave). Všechny obvody jsou zapojeny jednak na společnou zem, jednak paralelně na společný datový vodič. Tento datový vodič je připojen přes odpor cca 5k na napájecí napětí a "zdvihá" tak sběrnici do log. 1.

Komunikaci zahajuje vždy master reset pulsem. Nejprve "stáhne" datový vodič do log. 0 (uzemní ho) a drží ho na této úrovni minimálně 480 mikrosekund. Pak sběrnici uvolní a naslouchá. Odpor zatím vrátí sběrnici zpět do log. 1. Pokud je na sběrnici připojené nějaké 1-Wire zařízení, tak detekuje tuto vzestupnou hranu a po prodlevě (15 - 60  $\mu$ s) stáhne sběrnici na 60 - 240  $\mu$ s k log. 0.

Pokud se zařízení správně ohlásí, může master začít vysílat a přijímat data. Data jsou vysílána v tzv. „time slotech“. Slot je dlouhý 60 až 120  $\mu$ s a během jednoho slotu je vyslán nebo přijat jeden bit informace. Mezi jednotlivými sloty musí být minimálně 1  $\mu$ s mezera, kdy je sběrnice v klidu.

Existují 4 druhy slotů: Zápis 1, Zápis 0, Čtení 1 a Čtení 0. Zápisové sloty slouží k tomu, aby master vyslal data do zařízení. Zápis 1 probíhá tak, že master stáhne sběrnici k nule minimálně na 1  $\mu$ s a nejpozději do 15  $\mu$ s od začátku ji opět uvolní a ponechá uvolněnou. Zdvihací odpor ji tedy vytáhne k log. 1. Zápis 0 je o něco jednodušší: Master stáhne sběrnici k 0 a ponechá ji tak po celý slot, tedy min. 60  $\mu$ s. Zařízení vzorkuje stav na datovém vodiči zhruba 30  $\mu$ s po začátku timeslotu.

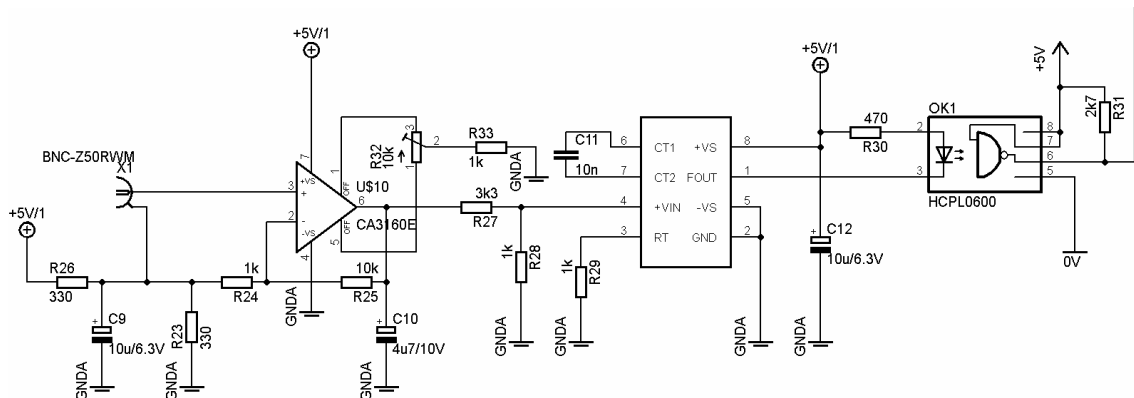
Čtecí sloty opět inicializuje master tím, že stáhne sběrnici k nule na minimálně 1  $\mu$ s a opět ji uvolní. Po tomto zahájení může zařízení vyslat 1 bit buď tím, že ponechá sběrnici v klidu (log. 1) nebo že ji stáhne (log. 0).

## 5.5. Vstupní obvod pH sondy

Navržené schéma zapojení je na obr.20. Jak je uvedeno v kap 2.3.7. má pH elektroda vnitřní odpor stovky  $M\Omega$ . Pro vstupní zesilovač jsem proto zvolil operační zesilovač CA3160E. Jedná se o BIMOS operační zesilovač s MOSFET vstupem a CMOS výstupem. Udávaný vstupní odpor tohoto operačního zesilovače je větší než 1,5T $\Omega$ . Při navrhování DPS je dobré myslet na umístění pouzdra tohoto OZ tak, aby bylo možné připojit neinvertující vstup (pin 3) přímo na konektor BNC pro pH sondu. Při zapojení přes DPS by mohla měření ovlivňovat svodová impedance. OZ je napájen nesymetrickým napětím 5V. Abych zamezil rušení tohoto vstupního obvodu, použil jsem pro napájení DC/DC konvertor připojený na 5V, které napájí

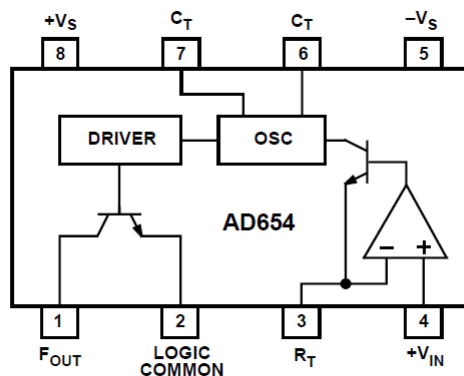
ostatní obvody. Jelikož je OZ napájen z nesymetrického napětí, je potřeba pro signál vytvořit umělou nulu. Tu jsem vytvořil odporovým děličem R23 a R26. Zesílení jsem zvolil 11 pomocí R24 a R25 podle vztahu [3]:

$$\bar{A}_N = (1 + R_{25} / R_{24}) \quad (15)$$



Obr.20: Schéma zapojení vstupních obvodů pH sondy

Odporovým trimrem R32 se nastavuje napěťová nesymetrie vstupů OZ. Rozhodl jsem se pro princip měření napětí pH sondy pomocí převodníku na frekvenci a tu potom měřit mikrokontrolérem za použití čítače. Pro převod z napětí na frekvenci jsem zvolil převodník AD654JN od Analog Devices.



Obr.21: Blokové schéma převodníku AD654.

Výstupní frekvenci převodníku lze určit pomocí vztahu z datasheetu:

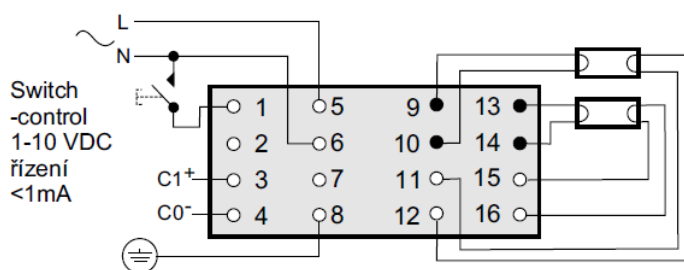
$$F_{OUT} = \frac{V_{IN}}{10 \cdot R_{29} \cdot C_{11}} \quad (16)$$

Hodnotu součástek jsem zvolil C11 10nF a R29 1kΩ. Při vstupní hodnotě napětí 0,58V to odpovídá výstupní hodnotě frekvence 5800Hz. Pro vstupní rozsah +/- 100mV je frekvenční rozsah výstupu převodníku  $f_{100mV} = 8372\text{Hz}$  a  $f_{-100mV} = 3256\text{Hz}$ . Pro galvanické oddělení

výstupní frekvence od portu mikrokontroléru jsem použil optočlen HCPL0600. Výstup je tvořen logickým hradlem. Na výstup je připojen R31 jako zvedací odpor.

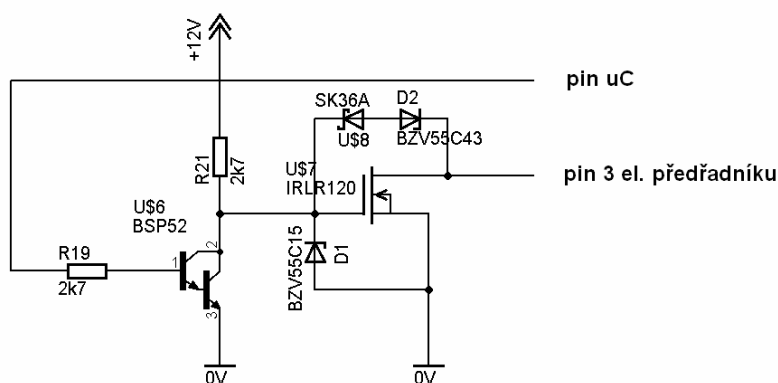
## 5.6. Obvody řízení osvětlení

Na osvětlení jsem použil moderní zářivkové trubice T5 a k nim elektronické předřadníky Helvar EL 2x39 SC. Jsou to předřadníky, které mají analogový vstup 1 až 10V pro řízení intenzity osvětlení.



Obr.22: Schéma zapojení elektronického předřadníku Helvar

Elektronický předřadník má již v sobě zabudovaný zdroj napětí 14V (mezi pinem 3 a 4). Pro řízení intenzity osvětlení připojím pin3 přes spínací prvek na pin4 (spojený s 0V) a úroveň napětí budu regulovat pomocí pulsní modulace. Schéma zapojení obvodu pro řízení osvětlení je na obr.23.

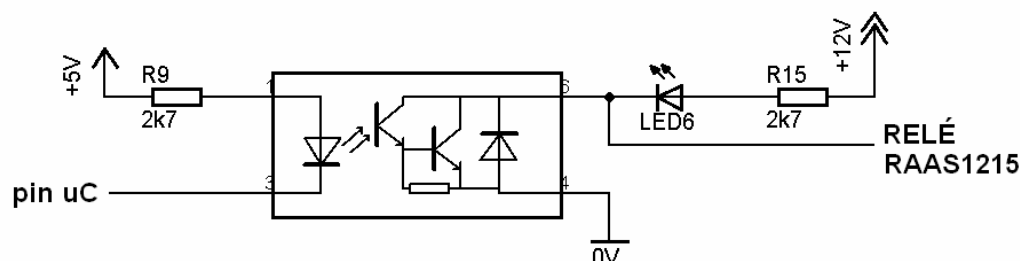


Obr.23: Schéma zapojení obvodu řízení osvětlení.

Jako spínací prvek jsem zvolil MOSFET tranzistor IRLR120. Maximální proud kanálu tohoto tranzistoru je  $I_D = 10A$ . Pro řízení elektronického předřadníku je tento tranzistor silně předimenzován, ale výstup PWM modulace bude s tímto tranzistorem určen pro univerzální použití a bude s ním možné například řídit otáčky chladících ventilátorů nebo jiného zařízení. MOSFET tranzistoru předchází budící NPN darlington BSP52. Diody D1, D2 a U8 jsou zapojeny na ochranu řídicí elektrody IRLR120. Testováním jsem zjistil, že dostatečný rozsah regulace jasu osvětlení je v intervalu 50 až 100%. Pro řízení je dále zapotřebí silový kontakt pro



spínání napájecího napětí AC230V pro napájení předřadníku. Jako spínací prvek jsem použil výkonové relé RAAS. Na výstup pro jeho řízení z mikrokontroléru je připojeno přes oddělovací optočlen TLP127 s výstupem typu darlington a maximálním proudem  $I_c = 150 \text{ mA}$ . Na kolektor je dále připojena led dioda pro indikaci stavu sepnutí relé.



Obr.24: Připojení relé RAAS1215 k mikrokontroléru.

Kontrolní led dioda a optočlen TLP127 jsou součástí desky řízení. Relé umístím na desku výkonovou. Stejně jako relé pro spínání osvětlení budou k mikrokontroléru připojeny další relé. Všechny budou umístěny na výkonové desce. Přiřazení funkcí jednotlivým relé:

- Relé1 – spínání osvětlení
- Relé2 – spínání osvětlení 2
- Relé3 – spínání nočního osvětlení
- Relé4 – spínání elektromagnetického ventilu pro sycení  $\text{CO}_2$
- Relé5 – spínání topení
- Relé6 – spínání dávkovacího čerpadla na tekutá hnojiva

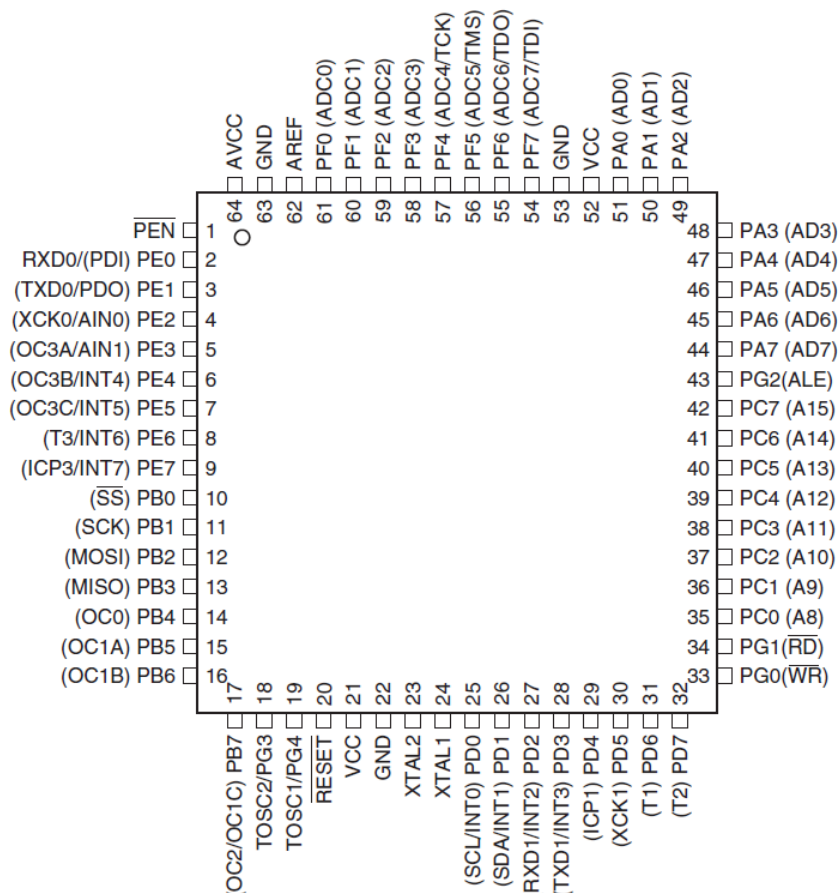
## 5.7. Mikrokontrolér

Při volbě mikrokontroléru vycházím z počtu potřebných portů pro navrhované zařízení, v tomto případě pokud započítám všechny V/V navržené obvody, ovládací tlačítka a připojení k programátoru, vychází mi s rezervou 6 portů. Volit budu mezi mikrokontroléry ATMEL z řady AVR. Zohlednit musím předpokládanou velikost programu. V tomto případě bude program značně obsáhlý už jenom z důvodu použití grafického LCD. Zvolil jsem kapacitu paměti 128kB, která by měla určitě s rezervou stačit a bude tedy možnost na další rozšiřování a úpravy programu. Po předchozích zkušenostech s řadou ATmega jsem zvolil mikrokontrolér ATmega128. Jedná se o nízkopříkonový 8bitový mikrokontrolér založený na rozšířené architektuře AVR RISC. Tím, že provádí výkonné instrukce v jediném hodinovém cyklu, dosahuje 1MIPS na 1MHz.

Základní vlastnosti mikrokontroléru ATmega128:

- instrukční soubor obsahuje 133 instrukcí.
- 32 registrů délky 8 bitů
- celkem 53 programovatelných vstupů / výstupů
- hodinový kmitočet 0 až 16 MHz

- paměť programu je tvořena zabudovanou Flash, kapacita je 128KB, počet přeprogramování je 10000 cyklů
- datová paměť SRAM kapacity 4KB
- datová paměť EEPROM kapacity 4KB, počet přeprogramování je 100000 cyklů
- Flash a EEPROM jsou programovatelné přímo v systému pomocí rozhraní SPI nebo JTAG
- dva 8bitové čítače/časovače, dva 16bitové čítače/časovače
- dva osmibitové PWM kanály
- 6 PWM kanálů s nastavitelným rozlišením 2 až 16 bitů
- 10bitový AD převodník
- jednotky USART, SPI, TWI (podpora I<sup>2</sup>C)
- jednotky WDT, Power-on reset
- zabudovaný RC oscilátor
- pouzdra TQFP64, QFN/MLF64

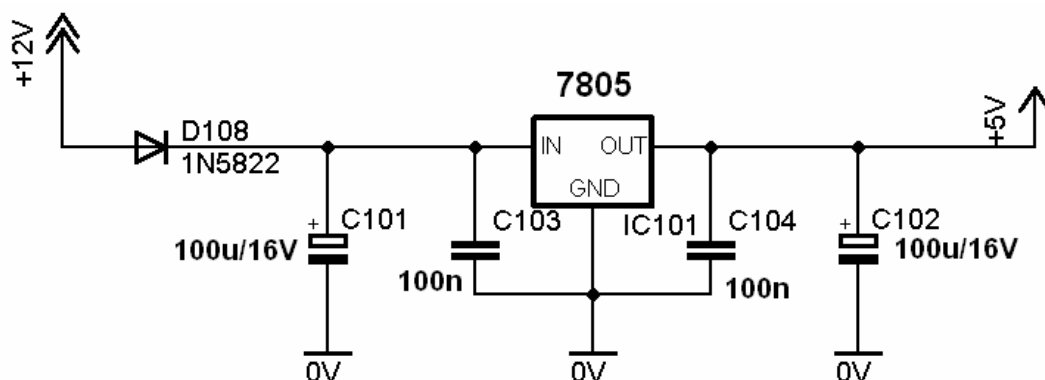


Obr.25: Zobrazení jednotlivých pinů pouzdra ATmega128

Označení pinu	Číslo pinu	připojeno
PF3(ADC3)	58	Tlačítko O.K.
PF2(ADC2)	59	Tlačítko ESC
PF1(ADC1)	60	Tlačítko dolů
PF0(ADC0)	61	Tlačítko nahoru / PRG
PA7(AD7)	44	DB7 LCD
PA6(AD6)	45	DB6 LCD
PA5(AD5)	46	DB5 LCD
PA4(AD4)	47	DB4 LCD
PA3(AD3)	48	DB3 LCD
PA2(AD2)	49	DB2 LCD
PA1(AD1)	50	DB1 LCD
PA0(AD0)	51	DB0 LCD
PB6(OC1B)	16	Relé 2
PB5(OC1A)	15	Relé 3
PB4(OC0)	14	PWM regulace
PB1(SCK)	11	SCK SPI rozhraní
PB0(SS)	10	Relé R1
PC7(A15)	42	Relé 4
PC6(A14)	41	Relé 5
PC5(A13)	40	Relé 6
PC4(A12)	39	CS1 LCD
PC3(A11)	38	CS2 LCD
PC2(A10)	37	RS LCD
PC1(A9)	36	R/W LCD
PC0(A8)	35	E LCD
PD7(T2)	32	Piezo měnič
PD6(T1)	31	Vstup měření pH
PD4(IC1)	29	Vstup od teplotního čidla
PE6(T3/INT6)	8	RST od DS1302
PE5(OC3C/INT5)	7	I/O od DS1302
PE4(OC3B/INT4)	6	SCLK od DS1302

Tab.4: Přiřazení jednotlivých vstupů a výstupů k mikrořadiči.

Mikrokontrolér je napájen napájecím napětím 5V, ze stabilizovaného napájecího zdroje, který je umístěn na výkonové desce. Piny AREF a AVCC pro napájení AD převodníků jsou napájeny ze samostatného napájecího zdroje 5V, který je také umístěn na výkonové desce. Napájecí zdroj má klasické zapojení s použitím stabilizátoru LM7805. Stabilizátor je připojen na vstupní napájecí napětí 12V z externího napájecího zdroje. Dioda D108 slouží pouze jako ochrana před přepólováním. I když odběr z tohoto stabilizátoru bude nízký, je potřeba ho umístit na chladič, protože při stabilizaci z 12 na 5V jsou na něm tepelné ztráty. Na piny xtal1 a xtal2 je připojen krystal 16MHz. Připojení jednotlivých vstupů a výstupů je znázorněno v tab.4.

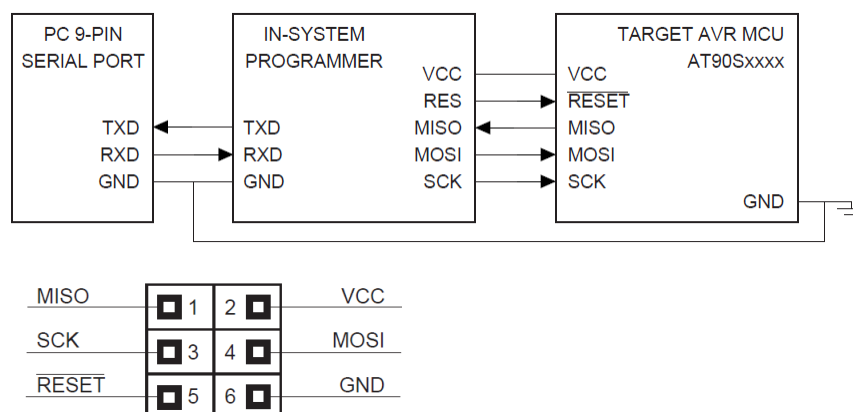


Obr.26: Schéma zapojení napájecího zdroje 5V.

Program pro mikrokontrolér je napsán v programu CodeVisionAVR 1.25.8. Vývojový prostředek CodeVisionAVR obsahuje překladač jazyka C, integrované vývojové prostředí IDE a průvodce, wizard, umožňující automatické generování zdrojového kódu pro mikrokontroléry ATMEL AVR. CodeVisionAVR je program spustitelný pod Windows 95, 98, 2000 a XP. Jeho překladač jazyka C z větší části vyhovuje specifikaci ANSI C (pokud to umožňuje architektura AVR), a dále má několik rozšíření vyhovujících potřebám vestavěných (embedded) systémů, speciálně AVR. Program byl napsán s pomocí p. Martina Šátka. Výpis programu je v příloze.

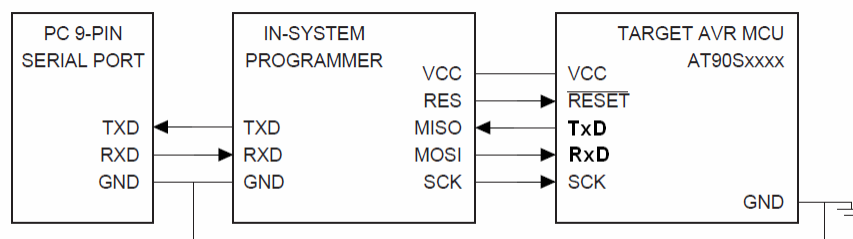
## 5.8. Ostatní součástky ve schématu zapojení

Zapojení mimo výše uvedených obvodů obsahuje také následující součástky. Na pin RESET mikrokontroléru je připojeno tlačítko RESET. Pro programování v aplikaci je použito ISP rozhraní (in system programming). Konektor ISP je připojen dle aplikační poznámky AVR910 od fa ATMEL. Propojení programátoru a programovaného obvodu a doporučené zapojení konektoru ISP je na obr.27.



Obr.27: Propojení programátoru a mikrokontroléru, doporučené zapojení ISP konektoru.

Při testování navrženého zapojení jsem narazil na problém, že jsem nemohl připojit mikrokontrolér k programátoru. Programátor jsem použil ATMEL AVRISP mkII. Přitom komunikaci s nižší řadou mikrokontroléru ATmega16 jsem měl s tímto zapojením odzkoušenou. Nakonec jsem testováním zjistil, že musím propojení programátoru a mikrokontroléru upravit, jak je znázorněno na obr.28. Toto zapojení jsem se v žádném doporučení ani aplikační poznámce nedočel.



Obr.28: Upravené propojení programátoru a mikrokontroléru.

Pro ovládání v menu řídicí jednotky jsou na piny 58 až 61 připojena tlačítka nahoru/prg, dolů, esc a ok. K nim jsou připojeny rezistory 2k7 na +5V, které na vstupech udržují log1, pokud není některé tlačítko sepnuté. Na pin 35 je připojen piezoměnič KPE112 přes tranzistor BSP52. Napájecí napětí +5V, +5V/2 a +12V jsou na desce řízení posíleny kondenzátorovými bateriemi 5x100uF/16V z důvodu možného rušení řízení při spínání relé a pwm modulaci. Propojení řídicí a výkonové části řízení jsem provedl pomocí konektoru CANNON15. Pro propojení stačilo pouze 11 pinů konektoru. Zbylé jsem použil na posílení GND (3 vodiče) a +12V (2vodiče). Pro připojení pH sondy jsem použil BNC konektor, pH sondy jsou jím standardně vybaveny.

## 5.9. Návrh, výroba a osazení desek plošných spojů

Podle schématu zapojení výkonové části jsem navrhnul jednostrannou DPS. Nejprve jsem rozmístil vstupní a výstupní konektory, poté zbylé součástky. DPS jsem navrhoval v programu EAGLE 5.7.0. Navržená DPS s rozmístěním součástek je pro ilustraci na obr.29. Matrice pro výrobu DPS a rozmístění součástek je v příloze.

Při navrhování DPS řízení jsem postupoval podobně. Nejprve jsem si rozmístil LCD, vstupní a výstupní konektory, ovládací tlačítka pod LCD. Konektory jsem všechny umístil na jednu boční stranu DPS. Dal jsem si požadavek pro navržení jednostranné DPS s drátovými propojkami. Pro dosažení co možná nejmenšího rozměru jsem zvolil kombinaci klasické montáže a povrchové SMT montáže součástek. Výsledný návrh je pro ilustraci na obr.30. Desky plošných spojů jsem vyrobil pomocí fotocesty. Desky plošných spojů se dnes dají běžně koupit již s nanesenou vrstvou fotocitlivého materiálu. Stačí si vytisknout matici na fólii nebo průhledný papír, desku přes tuto matici ozářit zdrojem záření s UV (například horské slunce) a vyvolat ve vývojce namíchané z hydroxidu sodného. Jakmile mám matici přenesenou na desku tak jí vyleptám chloridem železitým. Já po vyleptání a vyčištění desky ještě používám stříbrící lázeň. Tenká vrstvička na mědi zabraňuje oxidaci a určitě i lépe vypadá.



Při osazení výkonové desky jsem začal propojkami, ale na pořadí tady nezáleží. U řídicí desky jsem první osadil mikrokontrolér ATmega128. Z celého osazování desky řízení je to nejsložitější operace. Piny pouzdra mají mezi sebou mezeru pouze 0,3mm, ale i toto pouzdro se dá při troše šikovnosti zapájet bez speciálního pájecího centra SMT. Pouzdro si usadím přesně na místo, přitlačím ho a zafixuji připájením na protilehlých rozích pouzdra. Poté pájím mikropájkou jeden pin po druhém kolem celého pouzdra. Po osazení ATmega128 jsem postupně osadil propojky, rezistory, kondenzátory, konektory a tlačítka a nakonec všechny integrované obvody a LCD. Při ožiování, kdy jsem nemohl zprovoznit komunikaci, jsem si vyzkoušel i výměnu ATmega128. Pro odpájení jsem použil horkovzdušnou pistoli, na kterou jsem si vyrobil nástavec s vnitřním průměrem asi 5mm. Tímto nástavcem jsem nahříval krouživým pohybem všechny piny pouzdra. Po nahřátí jsem bez problému pouzdro sundal z DPS, bez jakéhokoli poškození.

## 6. Měření na realizovaném vzorku

V této kapitole uvádím měření, které jsem postupně prováděl při ožiování a nastavování realizovaného řídicího systému. Nejprve jsem zapojil na napájecí napětí 12V samostatnou výkonovou desku. Na výstupním konektoru jsem měřením ověřil funkčnost stabilizátorů pro +5V a +5V/2. Otestoval jsem také všechna relé umístěná na této kartě tak, že jsem postupně jedno po druhém spínal přes výstupní konektor na 0V.

Následovalo připojení řídicí karty. Po zapnutí jsem si ověřil odběr z +5V. Ten jsem naměřil 140mA. Po zprovoznění komunikace mezi programátorem a mikrokontrolérem jsem do paměti FLASH uložil zkompileovaný program přes AVR studio. Následovalo nastavení a proměření obvodů pro měření pH a proměření obvodů PWM modulace.

### 6.1. Měření vstupního obvodu pro pH sondu

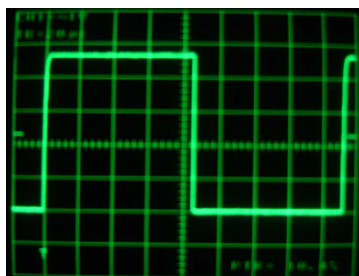
Provedl jsem měření při třech vstupních hodnotách. 0V, +100mV a -100mV. Měřil jsem velikost napětí za operačním zesilovačem CA3160E (pin 6 proti virtuální nule na děliči R23,R26). Při vstupním napětí 0V (konektor sondy ve zkratu) nastavím pomocí trimru R32 na výstupu nulovou hodnotu napětí. Použil jsem osciloskop s nastaveným rozsahem 5mV/DIV. Dále vstupní napětí do převodníku u/f AD654 (pin 4 proti GNDA) a výstupní frekvenční průběh za optočlenem HCPL0600 (pin 6 proti 0V). Naměřené hodnoty jsou v tab.5 a naměřené průběhy jsou na obr.31 až 33.

Napětí na vstupu OZ [mV]	Napětí na výstupu OZ [V]	Napětí na vstupu AD654 [V]
0	0	0,583
+100	1,113	0,844
-100	-1,114	0,319

Tab.5: Naměřené hodnoty napětí na výstupu OZ a vstupu AD654.

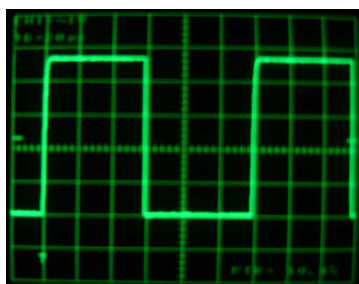
Z výsledků je vidět, že naměřená hodnota se liší od vypočítané o 13 a 14mV. Pokud si tuto odchylku přepočítám na vstupní stranu, tak bude 1,2mV. Jednomu stupni pH odpovídá změna

napětí na sondě cca 70mV. 1,2 mV odpovídá rozdílu 0,02pH. Přesnost pH sond při kontinuálním měření bývá 0,1pH, takže odchylka 0,02pH je zcela zanedbatelná.



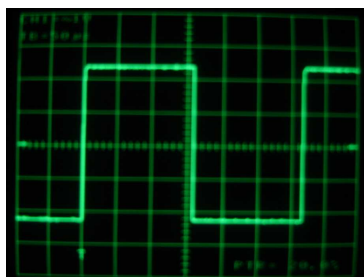
Nastavené rozsahy:	Y	1V/DIV
	X	20us/DIV
Naměřená hodnota	f	5813Hz

Obr.31: Průběh výstupu HCPL0600 při vstupním napětí 0mV.



Nastavené rozsahy:	Y	1V/DIV
	X	20us/DIV
Naměřená hodnota	f	8333Hz

Obr.32: Průběh výstupu HCPL0600 při vstupním napětí +100mV.



Nastavené rozsahy:	Y	1V/DIV
	X	50us/DIV
Naměřená hodnota	f	3225Hz

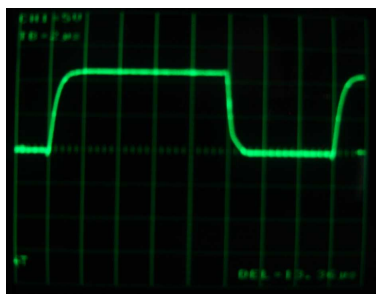
Obr.33: Průběh výstupu HCPL0600 při vstupním napětí -100mV.

Naměřené hodnoty odpovídají teoretickým výpočtům s nepatrnými odchylkami. Nepatrné odchylky jsou způsobeny nepřesným odečtem ze stupnice osciloskopu. Největší rozdíl je u průběhu na obr.32. Rozdíl činí 39Hz. Při přepočtu na dílek stupnice osciloskopu to je 0,03 dílku, což je na běžném osciloskopu nečitelné.



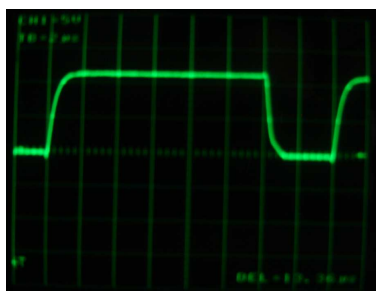
## 6.2. Měření na PWM výstupu

Další měření jsem provedl na výstupu pro PWM regulaci intenzity osvětlení. PWM výstup jsem připojil přes  $R\ 1k\Omega$  na napětí 12V. Výstup PWM jsem měřil proti 0V. Naměřené průběhy jsou na obr.34 až 36. Průběhy jsou měřeny pro nastavenou hodnotu 0, 50 a 100% intenzity osvětlení.



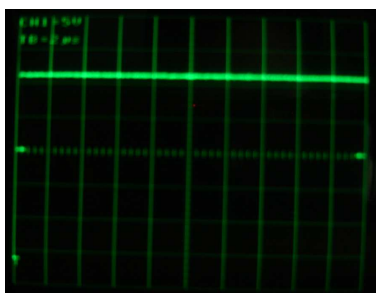
Nastavené rozsahy:	Y	5V/DIV
	X	2us/DIV
Naměřená hodnota	f	62500Hz
	střída	5:3

Obr.34: Průběh výstupu PWM pro jas nastavený na min.



Nastavené rozsahy:	Y	5V/DIV
	X	2us/DIV
Naměřená hodnota	f	62500Hz
	střída	6:2

Obr.35: Průběh výstupu PWM pro jas nastavený na 50%.



Nastavené rozsahy:	Y	5V/DIV
	X	2us/DIV

Na výstupu je plné napětí 12V.

Obr.36: Průběh výstupu PWM pro jas nastavený na 100%

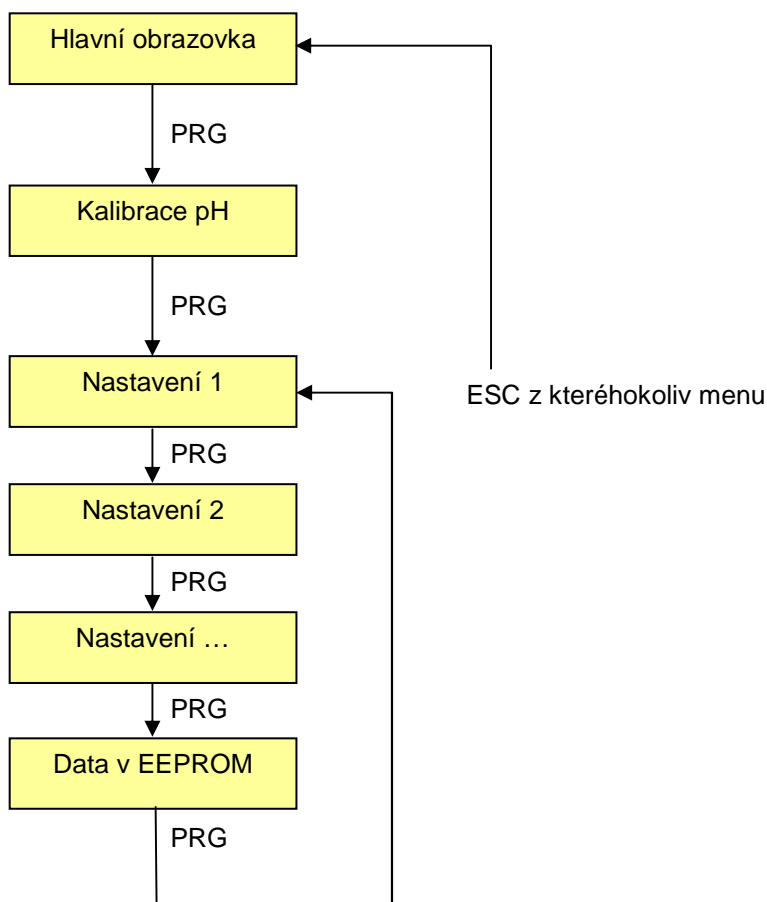
Ať už hodnoty výstupní frekvence nebo sřída výstupního signálu nemají na správnou funkci zařízení příliš velký vliv. Intenzita osvětlení je pro výstup se střídou 5:3 dostatečně slabá, aby ryby neměly světelný šok. Možná frekvence spínání má také velký rozsah.

Bylo by možné měřit, jak řídicí jednotka řídí nastavenou teplotu a pH. Obojí je navrženo jako klasická on/off regulace s nastavitelnou hysterezí od 0.05 do 0.5 u pH a od 0.1 do 1.0 u teploty. Hysterezi si nastavím podle použitého vytápění a systému pro sycení vody oxidem uhličitým tak, aby řízení nespínalo příliš často a zároveň nedocházelo k příliš velkým odchylkám od nastavených hodnot vlivem setrvačnosti regulovaných veličin.

Použité měřicí přístroje:           OSCILOSKOP GOULD 465  
  MULTIMETR METEX M-3860D

Jelikož jsem neměl k dispozici osciloskop s možností zápisu dat, jsou naměřené průběhy nafoceny a bez úprav použity. Pro ilustraci jsou myslím dostatečné.

## 7.     Nastavení jednotky a pohyb v menu



Obr.37: Blokové schéma pohybu v menu

Z úvodní obrazovky se přes základní menu pohybujeme stisknutím tlačítka PRG. Tímto tlačítkem můžeme bez nutnosti změny postupně rotovat v menu. Při potřebě měnit parametry na některé obrazovce se stiskem OK posuneme na příslušný řádek a šipkami dolů / nahoru parametr změníme. Parametry jsou ihned akceptovány, ale nejsou uloženy v trvalé EEPROM paměti. To se provede na poslední obrazovce Data v EEPROM.

## **Nastavení pH**

**Čas:** Při nastavení času On a Off například 8:00 a 17:00 bude probíhat regulace CO<sub>2</sub> pouze v tomto čase.

Při nastavení shodného času On a Off je regulace trvalá.

Výjimka je pouze při volbě puls, kdy se čas Off ignoruje a pro puls je důležitý pouze čas On.

**Den / Noc:** Udržování rozdílného pH během dne / noci se řídí v závislosti na nastavení výstupu Světlo 1 (relé 1). Tato funkce je trvalá. Při nastavení stejného pH na den / noc ztrácí význam. Při volbě puls se uvažuje pouze nastavení den.

**Na pH:** Regulaci na pH je možné vypnout. Potom bude sepnutí výstupu CO<sub>2</sub> záviset pouze na nastavení času, případně pulzu.

**Puls:** Tato volba umožní 1x denně v čas daný nastavením časem On sepnout výstup CO<sub>2</sub> na nastavenou dobu [sec]. Slouží především k naplňování tzv. zvonů plynem, který se pak trvale rozpouští během dne.

Regulace s nastavením hystereze funguje stejně jako u teploty. Při požadavku na pH 7.00 a hysterezi 0.1 bude CO<sub>2</sub> sepnuto při 7.10 a vypnuto 6.90. Nejnižší nastavitelná hystereze je 0.05 nejvyšší 0.5. Přesnost měření i při dobré kalibraci neumožňuje dosáhnout dlouhodobé stability, a proto jemnější regulace pod 0.05 nemá smysl. Naproti tomu regulace s hysterezí nad 0.5 ztrácí význam, protože rozkmit např. 6.5 až 7.5 je již na hranici použitelnosti.

## **Nastavení teploty**

Nastavení je logické. Teplota pro topení a chlazení.

## **Nastavení rozednívání a stmívání**

Čas určuje zahájení regulace a doba je čas po který bude trvat náběh světla na daný výkon. Sepnutí osvětlení pomocí relé, by mělo proběhnout nejlépe 1 minutu před zahájením stmívání (i déle).

Popis jednotlivých obrazovek řízení:

- Kalibrace pH sondy
- Nastavení hodnot pH a Teploty
- Nastavení časů pro osvětlení
- Nastavení časů pro osvětlení 2
- Nastavení nočního osvětlení
- Nastavení stmívání a rozednívání

- Nastavení chlazení
- Nastavení řízení pH bez sondy
- Režim chlazení
- Nastavení dávkování hnojiva
- Zadávání UT vody pro výpočet obsahu CO<sub>2</sub>
- Data v EEPROM

## 8. ZÁVĚR

Navržená a zrealizovaná jednotka odpovídá všem bodům zadání. Zařízení je plně funkční a odzkoušené. Nejsem příliš spokojen s výsledným rozměrem řídicí karty, který je 145x115mm. Záměr byl ten, že se řídicí karta bude dát zabudovat do přední části osvětlovacího krytu nádrže, nebo na ní z venkovní strany v krabici. Limitujícím faktorem bude šířka zařízení 115mm, jelikož kryty bývají nižší. Řešením je tedy řízení umístit do samostatné krabice a tuto na kryt nádrže upevnit. Toto řešení však není příliš estetické. Lepší řešení pro umístění řízení bude zabudovat ho do dvířek na skřínce pod nádrž. Pro zmenšení zařízení se nabízí několik řešení. Řídicí karta by se dala navrhnout na dvouvrstvé desce plošných spojů. Řízení by bylo určitě menší, ale hůře by se vyráběla DPS. Lepším řešením by bylo sloučit řídicí a výkonovou část do jednoho celku a oddělit od něj pouze LCD a ovládací tlačítka. Se zabudováním do krytu osvětlovací rampy by pak nebyl problém, rozměry by vlastně udával pouze modul LCD, který má 93x70mm. Dalším, co bych změnil, je použití relé pro spínání výstupů. V zařízení je jich celkem šest a pokud využívám všechny funkce řízení, tak je časté cvakání relátek až nepříjemné. Jako spínací prvky bych použil SSR relé (elektronicky spínané relé). Mají sice dvě nevýhody oproti klasickým relátkům a to, že při spínání většího výkonu se zahřívají a musí se umístit na chladič a za druhé, že jsou dražší než klasické relé. Výkony se ale vysoké nespínají, největší příkon mívá topné těleso a to do 300W a také ve skřínce pod nádrž nejsme příliš omezeni místem. Do nekonečna se dá samozřejmě vylepšovat program pro mikrokontrolér. Použití grafického displeje nabízí různé možnosti grafických úprav v jednotlivých obrazovkách. Zapracovat by se také dalo na zprehlednění nastavení celého systému pomocí hlavních obrazovek, podobrazovek atd.

Návrh zařízení jako je tato řídicí jednotka je vždy běh na dlouhou trať. Až do konce vlastně člověk neví, jestli bude zařízení jako celek pracovat správně. U tohoto zařízení se to podařilo a jeho funkce jsou v pořádku. Při návrhu by se dalo vydat cestou plně grafických zobrazovačů s velkým rozlišením, použít pro ovládání dotykový touch panel a podobně. Pokud však toto zařízení nebude mít žádné další uplatnění a postaví si ho jedinec sám pro sebe, veškerá práce a to můžou být klidně stovky hodin, přijde jako zbytečně vynaložené úsilí. Mě tato práce přinesla prohloubení znalostí v oblasti mikrokontrolérů ATmega a jelikož jsem celé zařízení navrhoval tak, aby bylo vyrobitelné v amatérských podmínkách doufám, že si ho nějaký akvarista elektrotechnik pro své akvárium sestaví.

## Seznam použité literatury

- 1) ŽÁK, Zdeněk . Kvalita měření pH - teorie a praxe. Chemagazín. 2005, XV, 6, s. 22-23.
- 2) KREIDL, Marcel, *Měření teploty – senzory a měřící obvody*. 1.vydání. Praha: BEN – technická literatura, 2005
- 3) PUNČOCHÁŘ, Josef. *Operační zesilovače v elektronice*. 5.vydání. Praha: BEN – technická literatura, 2005
- 4) MATOUŠEK, David, *Práce s inteligentními displeji LCD*. 1.vydání. Praha: BEN – technická literatura, 2006
- 5) MATOUŠEK, David, *Práce s mikrokontroléry Atmel ATmega16, 4díl*. 1.vydání. Praha: BEN – technická literatura, 2006
- 6) VÁŇA, Vladimír, *Mikrokontroléry Atmel AVR - assembler*. 1.vydání. Praha: BEN – technická literatura, 2003
- 7) BSP52. Datasheet [online]. 1999, 1, [cit. 2010-02-01]. Dostupný z WWW: <http://www.semiconductors.philips.com>
- 8) CA3160E. Datasheet [online]. 1999, 1, [cit. 2010-02-01]. Dostupný z WWW: <www.intersil.com>.
- 9) DS18B20. Datasheet [online]. 1999, 1, [cit. 2010-02-01]. Dostupný z WWW: <www.maxim-ic.com>.
- 10) DS1302. Datasheet [online]. 2008, 1, [cit. 2010-02-01]. Dostupný z WWW: <www.maxim-ic.com>.
- 11) AM1D-0505SZ. Datasheet [online]. 2006, 1, [cit. 2010-02-01]. Dostupný z WWW: <www.aimtec.com>.
- 12) TS53Y. Datasheet [online]. 2004, 1, [cit. 2010-02-01]. Dostupný z WWW: <www.vishay.com>.
- 13) HCPL-0600. Datasheet [online]. 2003, 1, [cit. 2010-02-01]. Dostupný z WWW: <http://www.fairchildsemi.com/>.
- 14) IRLR/U120NPbF. Datasheet [online]. 2004, 1, [cit. 2010-02-01]. Dostupný z WWW: <www.irf.com>.
- 15) KPC452. Datasheet [online]. 2008, 1, [cit. 2010-02-01]. Dostupný z WWW: <www.cosmo-ic.com>.
- 16) SK32A. Datasheet [online]. 2003, 1, [cit. 2010-02-01]. Dostupný z WWW: <www.mccsemi.com>.
- 17) AD654. Datasheet [online]. 1999, 1, [cit. 2010-02-01]. Dostupný z WWW: <http://www.analog.com>.
- 18) AVR910: In-System Programming. Datasheet [online]. 2008, 1, [cit. 2010-02-01]. Dostupný z WWW: <www.atmel.com>.

## **Seznam příloh**

- I. Celkové schéma zapojení řídicí části
- II. Celkové schéma zapojení výkonové části
- III. DPS výkonové části
- IV. Osazení DPS výkonové části
- V. DPS řídicí části
- VI. Osazení DPS řídicí části
- VII. Seznam součástek pro řídicí část
- VIII. Seznam součástek pro výkonovou část
- IX. Výpis programu pro ATmega128
- X. Datasheet k ATmega128